

Mestrado em Engenharia Eletrotécnica

Caracterização das Infraestruturas Energéticas da Prio Biocombustíveis

Relatório de Estágio apresentado para a obtenção do grau de Mestre em
Engenharia Eletrotécnica

Especialização em Automação e Comunicações em Sistemas de Energia

Autor

José Miguel Ferreira Laranjeira Ferraz

Orientadores

Doutora Dulce Helena Carvalho Coelho

Professora do Departamento de Engenharia Eletrotécnica

Doutor Luís Miguel Moura Neves de Castro

Professor do Departamento de Engenharia Química e Biológica

Instituto Superior de Engenharia de Coimbra

Supervisor

Engenheira Sónia Simões Henriques

Prio Biocombustíveis S.A.

Coimbra, abril, 2018

Agradecimentos

Depois de oito meses e meio de Estágio, há pessoas às quais não posso deixar de agradecer, que tornaram mais fácil este caminho.

Começo por agradecer aos meus pais e à minha irmã, pelo apoio ao longo deste percurso, pelas vezes que aconselharam e ajudaram tanto nos momentos melhores como nos piores.

À minha namorada, Sónia Lopes, sempre presente, todos os dias do curso e que, sem ela, teria sido certamente mais difícil chegar onde cheguei.

Aos meus colegas de curso, pelos momentos passados ao longo do curso e do estágio, e pelas conversas motivadoras que me ajudaram a encarar melhor este novo mundo em que estamos a entrar.

Aos meus orientadores do ISEC, Professora Doutora. Dulce Coelho e Professor Doutor. Luís Castro, que me propuseram este estágio e proporcionaram esta ótima experiência no mundo do trabalho. Apoiando-me sempre que necessário e sem qualquer tipo de entraves, procurando sempre que tivesse a orientação necessária.

À Engenheira Sónia Henriques que tratou do necessário para que o meu estágio fosse possível, tratando das relações entre o ISEC e a Prio Biocombustíveis, da integração na empresa e que continuamente procurou incentivar, ajudar e orientar no decorrer do estágio.

Às pessoas que me receberam na Prio Biocombustíveis e me fizeram sentir como um deles no dia a dia do estágio, que são: a Ana Silva, o Jaime Jerónimo, o Engenheiro Ricardo Pereira, a Dra. Rita Manso, a Dra. Carolina Gautier, a Engenheira Diana Rebelo.

Por fim, mas não menos importantes, os elementos da equipa de manutenção onde estive inserido durante o tempo de estágio. Começando pelo Sr. Joaquim, chefe da equipa de manutenção, que me orientou no decorrer do estágio, com o apoio da restante equipa, o Sérgio Rodrigues, o André Sousa, o Miguel Santos, o João Loureiro e o Jorge Almeida, a eles o meu mais sincero agradecimento pela integração que tive e pelas coisas que me ensinaram ao longo deste período. Um especial agradecimento ao André Sousa, eletricitista, que me acompanhou e me ajudou no percurso do estágio, e ao Miguel Santos, instrumentista, pelos ensinamentos e tempo perdido, pois sem eles teria sido muito mais complicado chegar onde cheguei.

Na impossibilidade de me lembrar de todos aqueles que me ajudaram neste percurso e que por alguma razão não mencionei, o meu obrigado.

Obrigado a todos.

Resumo

O presente Relatório tem como principal finalidade a apresentação da caracterização detalhada dos circuitos das traçagens da Prio Biocombustíveis S.A. obtida durante o Estágio realizado nesta empresa.

A caracterização dos circuitos das traçagens iniciou-se com o reconhecimento dos circuitos no quadro geral das traçagens, seguindo-se a identificação dos mesmos no processo, fazendo correspondência aos circuitos do quadro. Este procedimento permitiu a elaboração dos esquemas elétricos das traçagens, a atualização dos documentos referentes à localização da atuação das traçagens no processo, o registo das temperaturas reguladas e do fluido em que atuam, e a etiquetagem das caixas de alimentação e derivação, de forma a identificar facilmente cada circuito. Este reconhecimento permitiu identificar a utilização de traçagens em partes de processo que não estão em atividade.

Depois do reconhecimento dos circuitos no quadro procedeu-se à medição individual e global dos circuitos do quadro geral das traçagens. Terminadas as medições procedeu-se ao tratamento dos dados recolhidos, o que permitiu identificar uma redução de 13% da potência total relativamente ao valor apresentado na Auditoria Energética, realizada na empresa em 2015. Contudo, quando se fez o somatório das potências individuais de cada circuito ao longo do período do Estágio, o valor total voltou a aproximar-se do valor obtido em 2015, o que evidencia a influência das condições climáticas na ativação dos circuitos das traçagens. Com base nos dados obtidos, foram analisadas e propostas algumas medidas de racionalização energética, nomeadamente desligar circuitos não utilizados, reduzir as temperaturas reguladas e colocar termómetros nas linhas. Destas, foram implementadas as duas primeiras medidas.

Implementadas as medidas, foi realizada uma nova medição que permitiu verificar uma redução imediata de cerca de 10,4 kW na potência geral do quadro. Esta redução pode ser considerada ao longo de todo o ano, uma vez que as temperaturas registadas permitiram concluir que estes circuitos estão ligados o ano inteiro.

Foi realizado um caso de estudo, que permitiu concluir que a utilização das traçagens por vezes não será necessária durante a atividade normal da fábrica. Assim, as traçagens devem ser analisadas de forma a perceber a sua correta utilização e verdadeira utilidade.

Palavras-Chave: Biodiesel, Eficiência Energética Industrial, Gestão de Energia, SGCIE, SGE, Traçagens Elétricas, Transferência de Calor.

Abstract

The main purpose of this report is to present the detailed characterization of the traces circuits of Prio Biofuels S.A. obtained during the stage carried out in this company.

The characterization of the circuit of the traces began with the recognition of the circuits in the general frame of the traces, followed by the identification of the same ones in the process, corresponding to the circuits of the board. In this way, it was possible to elaborate the electrical diagrams of the traces, to update the documents referring to the location of the traces in the process, to record the regulated temperatures and the fluid in which they operate, and to label the feed and bypass boxes in order to easily identify each circuit. With this recognition, we observed the use of traces in non-active process parts.

After the recognition of the circuits in the frame, individual and global measurement of the circuits of the general picture of the tracings was carried out. After the measurements were taken, the collected data were processed, which allowed to identify a 13% reduction of the total power compared to the value presented in the Energy Audit carried out in the company in 2015. However, when the sum of the individual powers of each circuit over the period of the Stage, the total value returned to approach the value obtained in 2015, which shows the influence of the climatic conditions on the activation of the tracing circuits.

Based on the data obtained, some measures of energy rationalization were analyzed and proposed, namely to disconnect unused circuits, to reduce the regulated temperatures and to place thermometers in the lines. Of these, the first two measures were implemented.

Once the measures were implemented, a new measurement was carried out, which verified the immediate reductions. There was a reduction of about 10.4 kW in the overall power of the frame, which can be considered throughout the year, since these circuits would be switched along all the year.

A case study was carried out, which allowed us to conclude that the use of tracings will sometimes not be necessary during normal factory activity. Thus, the tracings must be analyzed in order to perceive their correct use and true usefulness.

Keywords: Biodiesel, Electric Traces, Energy Management, Heat Transfer, Industrial Energy Efficiency, SGCIE, SGE.

Índice

Agradecimentos	i
Resumo	iii
Abstract.....	v
Índice	vii
Índice de figuras	ix
Índice de tabelas	xi
Nomenclatura.....	xiii
Abreviaturas.....	xv
1. Introdução	1
1.1. Enquadramento do Estágio.....	4
1.2. Objetivos Propostos.....	5
1.3. Estrutura do Relatório	5
2. Caracterização da Prio Biocombustíveis	7
2.1. Produção de Biodiesel	7
2.1.1. Processo Produtivo do Biodiesel na Prio Biocombustíveis.....	9
2.1.2. Vantagens e Desvantagens do biodiesel.....	11
2.2. Caracterização Energética da Prio Biocombustíveis.....	12
2.2.1. Rede elétrica	15
2.2.2. Diagrama de carga global da instalação	16
2.2.3. Traçagens elétricas	17
3. Traçagens - Enquadramento Teórico.....	19
3.1. Conceitos gerais de aquecimento por traçagens.....	22
4. Traçagens Elétricas na Prio Biocombustíveis	27
4.1. Levantamento dos circuitos do quadro elétrico.....	27
4.2. Levantamento dos circuitos no processo.....	32
4.3. Medições/recolha de dados	40
4.4. Oportunidades de Racionalização de Consumos na Rede de Traçagens	46
4.4.1. Desligar circuitos sem utilidade	47
4.4.2. Redução de temperaturas.....	50
4.4.3. Colocação de termómetros	53
4.5. Implementação das oportunidades de melhoria	53
4.6. Caso de estudo.....	55

5.	Sistemas de Gestão de Energia	67
5.1.	Gestão de Energia	67
5.2.	Sistemas de Gestão de Energia	68
5.3.	Norma NP EN ISSO 50001:2012	70
5.4.	Integração da Norma ISO 50001 com o SGCIE	72
6.	Conclusões e oportunidades futuras.....	75
	Referências.....	79
	ANEXO I - Listagem completa dos componentes do quadro elétrico.....	83
	ANEXO II- Esquema elétrico unifilar do quadro elétrico das traçagens.....	84
	ANEXO III - Tabela de identificação dos circuitos no processo.....	85
	ANEXO IV – Datasheets das traçagens elétricas utilizadas na Prio Biocombustíveis.....	86
	ANEXO V – Esquema elétrico multifilar dos circuitos das traçagens elétricas	87
	ANEXO VI – Compilação das traçagens nos PID's da fábrica	88
	ANEXO VII – PID's das traçagens corrigidos.....	89
	ANEXO VIII – Relatórios das medições efetuadas.....	90
	ANEXO IX – Tabela de recolha de dados das medições	91
	ANEXO X – Compilação das temperaturas registadas nas medições	92
	ANEXO XI – Gráfico do atrito em tubos	93

Índice de figuras

Figura 2.1 - Processo de Produção simplificado.	9
Figura 2.2-Esquema do QGBT.....	15
Figura 2.3 - Diagrama de carga da alimentação geral de energia elétrica.....	16
Figura 3.1- Ilustração de transferência de calor num tubo [27].	23
Figura 4.1 - Quadro das traçagens elétricas.	27
Figura 4.2- Página exemplo do esquema unifilar do quadro de traçagens elétricas.....	31
Figura 4.3 - BSTW/BTB do lado esquerdo e BSTW do lado direito.....	33
Figura 4.4 - Tipo de traçagem PSB [28].	34
Figura 4.5 - Tipo de traçagem HSB [28].....	35
Figura 4.6-Tipo de traçagem ELK [28].....	35
Figura 4.7- Esquema multifilar do circuito C7.1.....	36
Figura 4.8 - PID do circuito 7.11 da BARTEC.	37
Figura 4.9 - PID do circuito 7.11 alterado.....	38
Figura 4.10 - Manutenção e etiquetagem da caixa HC 7.7.	39
Figura 4.11 - Medição do circuito C10.24.	40
Figura 4.12 - Variação da tensão da medição do circuito C10.20.....	41
Figura 4.13 - Variação da frequência da medição do circuito C10.20.	41
Figura 4.14 - Diagrama de carga do quadro de traçagens realizado na auditoria [14].	44
Figura 4.15 – Diagrama de cargas do quadro das traçagens elétricas da medição realizada no estágio	45
Figura 4.16- Temperaturas registadas em Ílhavo em 2016 [32].....	47
Figura 4.17 - Esquema do caso de estudo.	56
Figura 4.18 - Variação da temperatura ao longo do tubo na instalação em estudo.	63
Figura 4.19 - Variação da temperatura do biodiesel na tubagem ao longo do tempo, quando o processo está parado.....	65
Figura 5.1- Modelo esquemático para um Sistema de Gestão de Energia para a Norma[42].	71
Figura 5.2 - Aspetos de Gestão e Técnicos de um SGE e correspondência com a Norma ISSO 50001 [44].	72

Índice de tabelas

Tabela 2.1 - Consumos por fonte de energia em 2015.....	12
Tabela 2.2 - Consumo Específico de Energia em 2015.	13
Tabela 2.3 - Intensidade Energética em 2015.	13
Tabela 2.4 - Emissões de CO ₂ e Intensidade Carbónica em 2015.....	14
Tabela 2.5 - Resumo das medidas de racionalização.	14
Tabela 2.6 - Consumos elétricos médios da instalação.	17
Tabela 2.7 - Potências médias medidas nos circuitos das traçagens elétricas.	18
Tabela 4.1 - Componentes do quadro elétrico das traçagens.	28
Tabela 4.2 - Tabela resumo dos circuitos do quadro das traçagens.	30
Tabela 4.3 - Compilação da identificação dos circuitos no processo.....	32
Tabela 4.4 - Excerto da tabela de recolha de dados das medições.	42
Tabela 4.5 - Potências médias medidas nos circuitos das traçagens.	43
Tabela 4.6 - Distribuição da potência por fases.	44
Tabela 4.7 - Consumos médios diários e semanal registados no quadro geral das traçagens em 2009 e 2016 [14].	45
Tabela 4.8 - Consumos médios diário e semanal registados e potência média no quadro geral das traçagens.....	45
Tabela 4.9 - Temperaturas médias registadas [30]–[32].	46
Tabela 4.10 - Circuitos a desligar.....	48
Tabela 4.11 – Previsão de redução dos circuitos a desligar.	49
Tabela 4.12 – Caminhos de traçagens a retirar dos circuitos.	50
Tabela 4.13 - Circuitos a reduzir a temperatura regulada.	51
Tabela 4.14 - Previsão de redução dos circuitos a reduzir a temperatura.	52
Tabela 4.15 – Registos de temperatura e velocidade de vento das medições efetuadas.	54
Tabela 4.16 – Valores médios registados durante 24h antes de qualquer alteração.....	54
Tabela 4.17 - Valores médios registados durante 24h depois das alterações efetuadas.	54
Tabela 4.18 - Valores médios registados durante 7 dias depois das alterações efetuadas.	55
Tabela 4.19 - Dados característicos da linha de biodiesel em estudo.	56
Tabela 4.20- Valores utilizados nos cálculos da potência de traçagem necessária.	61
Tabela 5.1 - Integração da Norma ISO 50001 com o SGCIE.	73
Tabela 6.1 – Impacto das medidas implementadas.	77

Nomenclatura

A_f	Área de fluxo	m^2
C_p	Calor específico	$J/(kg.K)$
Q_m	Caudal mássico	kg/h
Q_v	Caudal Volumétrico	m^3/h
φ	Coeficiente de atrito	
L	Comprimento	m
k	Condutividade	$W/(m.K)$
d_e	Diâmetro externo	mm
e	Espessura	mm
f	Fator de atrito	
m	Massa	kg
ρ	Massa volúmica	kg/m^3
ΔP_f	Perda de carga na tubagem	N/m^2
r	Raio	mm
η	Rendimento	$\%$
Re	Reynolds	
ε	Rugosidade	
ε/D	Rugosidade relativa	
T	Temperatura	$^{\circ}C$
u	Velocidade de escoamento	m/s
μ	Viscosidade	m^2/s

Abreviaturas

APETRO	Associação Portuguesa de Empresas Petrolíferas
ARCE	Acordo de Racionalização dos Consumos de Energia
BSTW	<i>Safety Temperature Monitor</i>
BTB	<i>Safety Temperature Limiter</i>
CEE	Consumo Específico de Energia
CIE	Consumidores Intensivos de Energia
CO ₂	Dióxido de Carbono
DGEG	Direção Geral de Energia e Geologia
EDP	Energias de Portugal
EEP	Empresa de Estudos e Projetos
FAME	<i>Fatty Acid Methyl Esters</i>
FER	Fontes de Energias Renováveis
FFA	<i>Free Fatty Acides</i>
GEE	Gases de Efeito de Estufa
IC	Intensidade Carbónica
IE	Intensidade Energética
IPMA	Instituto Português do Mar e da Atmosfera
kgep	Kilograma equivalente de petróleo
ORC	Oportunidades de Racionalização de Consumos
PID	<i>Process Identifier</i>
PME	Pequenas e Médias Empresas
PNAEE	Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética
PNAER	Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis

PREn	Plano de Racionalização de Energia
PT	Posto de Transformação
QGBT	Quadro Geral de Baixa Tensão
SGCIE	Sistema de Gestão de Consumidores Intensivos de Energia
SGE	Sistema de Gestão de Energia
tep	tonelada equivalente de petróleo
UCO	<i>Used Cooking Oil</i>
UE	União Europeia
URE	Utilização Ração de Energia

1. Introdução

O setor industrial mantém-se como o maior consumidor de energia em termos globais, sendo responsável por cerca de 50% do consumo mundial de energia [1] e por 42% do consumo mundial de eletricidade [2]. Ao nível da União Europeia, o consumo de energia do setor industrial representa 25,3% do consumo de energia final [3].

Em Portugal, de acordo com os dados disponíveis na Direção Geral de Energia e Geologia (DGEG), o sector industrial é o segundo maior setor consumidor de energia no país, tendo sido responsável em 2016 (dados provisórios) por 27% do consumo total de energia final (ultrapassando 4,7 Mtep) e por 37,2% do consumo de eletricidade (ultrapassando 15257 GWh) [4].

Sendo o setor industrial um grande consumidor de energia e, consequentemente, um dos setores com um grande impacto nas emissões de gases de efeito estufa, melhorar a eficiência energética das indústrias é uma questão indispensável [5]. A eficiência energética tem sido reconhecida como um dos principais meios para aumentar a competitividade do setor industrial [6]. Adicionalmente, o incremento da eficiência energética industrial contribuirá para atingir objetivos mais vastos, como a segurança energética, o crescimento económico, a atenuação das alterações climáticas e a proteção ambiental [5-7].

No entanto, apesar do significativo potencial existente para reduzir o consumo de energia no setor industrial e dos benefícios decorrentes das medidas de eficiência energética, as oportunidades para incrementar a eficiência energética neste setor ainda não estão fortemente exploradas [7], não sendo a sua implementação nas empresas uma tarefa fácil, devido às barreiras existentes que devem ser identificadas para definir estratégias de motivação que possam combater esses obstáculos [8].

A existência e a identificação de diferentes barreiras ao incremento da eficiência energética industrial são apresentadas em vários trabalhos científicos. Um levantamento de diversos estudos experimentais transnacionais, nacionais, regionais e locais sobre as barreiras à eficiência energética industrial é apresentado em [6]. Os autores, tendo por base o horizonte temporal dos últimos quinze anos, evidenciam a existência de barreiras de natureza diversa (económicas, comportamentais e organizacionais), dentro e fora de uma empresa, observando que as barreiras podem variar consideravelmente de acordo com as características das medidas

de eficiência energética a implementar, tais como a facilidade de implementação, os requisitos técnicos específicos, perturbações nas linhas de produção, etc.

Com base em estudos anteriormente publicados, [9] categoriza as principais barreiras à implementação de medidas de eficiência energética industriais, indicando quais os principais setores onde cada barreira é particularmente forte. Usando como estudo de caso o projeto e execução de uma auditoria energética numa multinacional americana fabricante de eletrodomésticos, os autores listam as medidas de eficiência energética identificadas e apresentam a respetiva viabilidade técnica e a análise da viabilidade económica. Uma revisão da literatura de estudos empíricos focados nas barreiras à eficiência energética industrial é apresentada em [10]. Aqui, para cada setor industrial analisado, são identificadas e analisadas as principais barreiras.

Tendo como objetivo identificar a situação energética em Pequenas e Médias Empresas (PME) portuguesas no que diz respeito à eficiência energética, [11] apresenta um resumo de diferentes estudos teóricos e empíricos sobre barreiras à eficiência energética industrial. O estudo inclui a discussão das principais barreiras e a identificação de medidas que podem contribuir para a melhoria da eficiência energética no setor industrial.

Apoiado pela experiência portuguesa relatada em [11], o trabalho desenvolvido por [8] pretende identificar as principais barreiras à eficiência energética industrial e também as possíveis formas de as superar, nomeadamente as barreiras comportamentais. Os autores verificaram que nas empresas portuguesas as barreiras à implementação de medidas de eficiência energética variam consideravelmente. As empresas de maiores dimensões e mais consumidoras de energia confrontam-se com o acesso limitado ao capital, seguindo-se as preocupações com os riscos técnicos e as dificuldades orçamentais. Para as pequenas empresas, as principais barreiras parecem ser a falta de informação, o acesso limitado ao capital e a baixa prioridade dada às questões energéticas.

Como referido em [10] e [12], a eficiência energética industrial ascendeu ao topo da agenda da política energética europeia e está no centro do Pacote Energia-Clima 20-20-20, a Estratégia Europeia para 2020. A Diretiva 2012/27/UE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 25 de outubro de 2012, relativa à eficiência energética, que altera e revoga algumas diretivas anteriores estabelece um quadro comum de medidas para a promoção da eficiência energética na União Europeia, a fim de garantir a consecução dos objetivos da UE para 2020 [13]. Nos termos desta Diretiva, para o sector industrial, todos os Estados-Membros devem criar um

quadro propício a prestar às empresas a assistência técnica e as informações especificamente orientadas para a adoção de medidas de eficiência energética.

Em Portugal, a promoção da eficiência energética constitui um dos cinco eixos principais em que assenta a Estratégia Nacional para a Energia 2020 (ENE 2020) (Resolução do Conselho de Ministros n.º 29/2010), consolidando o objetivo de redução de 20% do consumo de energia final em 2020. O Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética - PNAEE 2016 (Resolução do Conselho de Ministros n.º 20/2013), um instrumento de planeamento energético que estabelece o modo de alcançar as metas e os compromissos internacionais assumidos por Portugal em matéria de eficiência energética, integra políticas e medidas ambiciosas, abrangendo seis áreas específicas: Transportes, Residencial e Serviços, Indústria, Estado, Comportamentos e Agricultura.

No PNAEE 2016, a área da Indústria é abrangida por um programa designado por Sistema de Eficiência Energética na Indústria, onde se destacam as medidas transversais no setor industrial e outras medidas setoriais para a eficiência no processo industrial e que inclui a revisão do Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia – SGCIE.

O Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia, regulamentado pelo Decreto-Lei n.º 71/2008, de 15 de abril (posteriormente alterado pela Lei n.º 7/2013, de 22 de janeiro, e pelo Decreto-Lei n.º 68-A/2015, de 30 de abril), foi criado com o objetivo de promover a eficiência energética e a monitorização dos consumos energéticos das instalações consumidoras intensivas de energia (CIE), ou seja, que apresentem um consumo de energia superior a 500 tep/ano, em especial no sector industrial, através da regulamentação dos seus consumos energéticos e contribuir para a diminuição do nível de emissões de gases com efeito de estufa.

O SGCIE prevê a realização periódica de auditorias energéticas que incidam sobre as condições de utilização de energia, a conceção e o estado da instalação e promovam o aumento da eficiência energética, incluindo a utilização de fontes de energia renováveis. Prevê, ainda, a elaboração, a execução e subsequente verificação do seu cumprimento, de Planos de Racionalização dos Consumos de Energia (PREn) com base nos elementos recolhidos durante a realização da auditoria energética. Estes PREn devem contemplar objetivos mínimos de eficiência energética e, uma vez aprovados, constituem Acordos de Racionalização dos Consumos de Energia (ARCE) celebrados com a Direção Geral de Energia e Geologia associando ao seu cumprimento a obtenção de incentivos pelos operadores das instalações consumidoras envolvidas.

1.1. Enquadramento do Estágio

Durante o ano de 2015, ano de referência da última auditoria energética realizada, a Prio Biocombustíveis registou um consumo energético superior a 1000 tep estando, por isso, abrangida pelo Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia. Assim, de acordo com a legislação em vigor, a empresa necessita de implementar medidas que lhe permitam atingir as metas de redução de pelo menos 6% da Intensidade Energética¹ e do Consumo Específico² no prazo de 6 anos, e reduzir ou manter os valores de Intensidade Carbónica³.

Os resultados da auditoria energética realizada identificam diferentes Oportunidades de Racionalização de Consumos (ORC) e apresentam a avaliação das correspondentes medidas para as implementar [14]. Algumas das medidas de Utilização Racional de Energia (URE) indicadas já foram implementadas e outras encontram-se em fase de implementação. Uma das medidas de racionalização propostas e ainda não implementada refere-se à “Racionalização da utilização das traçagens elétricas”.

As traçagens elétricas são condutores puramente resistivos, instalados nas tubagens da fábrica com o objetivo de manter os fluídos a uma temperatura ótima de atividade, de modo a que este não solidifique ou ponha em causa o funcionamento correto do processo. No decorrer da auditoria energética realizadas à unidade fabril constatou-se que as traçagens elétricas são responsáveis por cerca de 10% do consumo global da instalação. Embora durante os últimos anos algumas destas traçagens tenham sido desligadas, nomeadamente nos casos em que os circuitos alimentavam apenas um utilizador e que dispensavam aquecimento, uma parte importante destes circuitos continua permanentemente ligado.

A dificuldade em desligar mais circuitos, e assim obter melhores resultados, prende-se sobretudo com a complexidade da organização dos circuitos de traçagem, onde um circuito está associado a várias tubagens, limitando o controlo individual de cada tubagem. Tendo em conta o elevado peso do consumo destes sistemas, é aconselhável que as traçagens sejam alvo de um estudo detalhado, circuito a circuito, no sentido de se encontrar uma forma otimizada de garantir o seu bom funcionamento, com o mínimo de desperdício de energia.

¹ *Intensidade energética* = $\frac{\text{Consumo total de energia (tep)}}{\text{Valor acrescentado Bruto (€)}}$

² *Consumo específico de energia* = $\frac{\text{Consumo total de energia (tep)}}{\text{Volume de produção(unidade)}}$

³ *Intensidade carbónica* = $\frac{\text{Emissões de GEE (tonCO2e)}}{\text{Consumo total de energia (tep)}}$

A auditoria energética identificou também a importância da aposta na implementação de um Sistema de Gestão de Energia (SGE), como meio de garantir níveis elevados de eficiência energética e de permitir apoiar a identificação e quantificação de novas oportunidades de melhoria, pelo que faz sentido integrar a especificação deste sistema no âmbito deste trabalho de Estágio.

1.2. Objetivos Propostos

Numa fase inicial, deveria ser adquirida experiência através da realização de medidas de consumos energéticos com recurso ao equipamento de medida ‘Analizador de Energia Trifásico Fluke 1735’, de modo a explorar e definir procedimentos para recolha de dados. Após estipulado o protocolo de medidas seguir-se-ia a caracterização das Infraestruturas Energéticas da fábrica e a caracterização dos consumos energéticos pelos principais circuitos da rede elétrica.

Assim, os objetivos principais propostos para este Estágio foram:

- (i) Exploração do equipamento de medida de consumos energéticos e definição do protocolo de medidas;
- (ii) Exploração da rede elétrica existente e realização de um programa de medições de consumos energéticos por forma a efetuar uma caracterização detalhada da unidade industrial;
- (iii) Análise detalhada dos circuitos e consumos associados às traçagens elétricas da unidade e medição/caracterização dos consumos por circuito;
- (iv) Elaboração de propostas com vista à otimização da rede de traçagens, eventualmente com a separação de algumas linhas que possibilite desligar circuitos de uma forma independente;
- (v) Identificação de pontos para colocação estratégica de contadores de energia elétrica, com vista à futura implementação de um Sistema de Gestão de Energia (SGE).

1.3. Estrutura do Relatório

Este Relatório de Estágio encontra-se estruturado em seis capítulos.

Neste primeiro capítulo, “Introdução”, faz-se o enquadramento do tema e do trabalho do Estágio realizado na Prio Biocombustíveis. Indicam-se, igualmente, os objetivos principais propostos e apresenta-se a estrutura do Relatório.

O Capítulo 2, “Caracterização da Prio Biocombustíveis”, inicia-se, como o próprio título indica, com uma breve caracterização da Prio Biocombustíveis. É feita referência à produção do biodiesel, vantagens e desvantagens deste biocombustível e descrito o processo de produção do biodiesel na Prio Biocombustíveis. Neste capítulo são ainda apresentados os principais resultados da caracterização energética da empresa, tendo por base uma Auditoria Energética realizada em 2015.

O enquadramento teórico das traçagens é feito no capítulo com o mesmo título - Capítulo 3, “Traçagens – Enquadramento Teórico”. Depois de uma referência aos diferentes tipos de traçagens e à sua utilização, são apresentados os conceitos gerais do aquecimento com recurso a traçagens.

No Capítulo 4, “Análise detalhada das traçagens elétricas”, descreve-se o trabalho desenvolvido para o estudo detalhado dos circuitos de traçagens elétricas e caracterização dos respetivos consumos energéticos e apresentados os resultados obtidos. Neste capítulo apresenta-se ainda a elaboração das propostas de medidas de racionalização de energia a implementar nos circuitos das traçagens, bem como as reduções alcançadas com as medidas que foram implementadas. Inclui-se ainda, neste capítulo, um estudo de caso destinado a encontrar o modo ótimo de funcionamento e controlo das traçagens, por forma a minimizar o consumo de energia.

O Capítulo 5 “Sistemas de Gestão de Energia”, inclui uma abordagem ao tema da Gestão de Energia e uma referência à necessidade, vantagens e benefícios de um Sistema de Gestão de Energia. É feita uma apresentação sucinta da Norma NP EN ISO 50001:2012 e da metodologia “Plan-Do-Check-Act”, em que a Norma se baseia. O capítulo finaliza com a indicação de uma possível integração da Norma ISO 50001 com o SGCIE.

No Capítulo 6, “Conclusões”, são apresentadas as principais conclusões do trabalho realizado ao longo do Estágio na Prio Biocombustíveis para cada um dos objetivos propostos, de modo a evidenciar a taxa de concretização de cada um dos objetivos. São ainda sugeridas algumas atividades que podem ser realizadas na sequência do presente trabalho.

2. Caracterização da Prio Biocombustíveis

A Prio Biocombustíveis S.A., situada na Gafanha da Nazaré, Aveiro, é uma empresa que se dedica ao fabrico de Biodiesel (CAE 20591 – Produção de Biodiesel) e pertencente ao Grupo Prio Energy. Este Grupo distribui e comercializa combustíveis líquidos e, para além da fábrica de biodiesel, conta com um terminal de tanques em Aveiro. É uma empresa com capital 100% português e é a única gasolinera ibérica com a tripla certificação QSA (Qualidade, Segurança e Ambiente) [15].

A Prio nasceu em 2006, apresentando como principal atividade a produção e distribuição de biodiesel, a que correspondiam as entidades jurídicas Prio Energy S.A. e a Prio Biocombustíveis S.A., respetivamente. Nesse ano iniciou-se a construção da fábrica de biodiesel e do projeto de conceção do terminal e tanques de Aveiro. Em 2007 a fábrica inicia a produção de biodiesel e inaugura o primeiro posto de biocombustíveis em Oliveira de Frades. Em 2013 a Oxy Capital integrou a estrutura de acionistas da Prio, valorizando o facto de 100% do capital ser português. Em 2015, a Prio passou a integrar a Associação Portuguesa de Empresas Petrolíferas (APETRO) [15].

A Prio Biocombustíveis, adotando a tecnologia Alemã Lurgi, é a empresa responsável pela produção e comercialização de biodiesel e dos subprodutos derivados da sua produção. Tem capacidade para produzir 113880 ton/ano de biodiesel, cumprindo as especificações da norma europeia de qualidade EN 14214. Com um controlo de qualidade assegurado por um laboratório em funcionamento 24 horas por dia, garante o cumprimento dos parâmetros legalmente exigidos para a qualidade do produto final [15].

2.1. Produção de Biodiesel

O biodiesel é um biocombustível, ou seja, um combustível obtido a partir de recursos renováveis, como a biomassa vegetal, óleos vegetais, resíduos urbanos e resíduos industriais tratados.

O biodiesel é definido como uma mistura líquida de ésteres (substância resultante da ação de um ácido orgânico sobre um álcool) metílicos e/ou etílicos de ácidos gordos de cadeia longa, derivados de matéria-prima renovável lipídica, isto é, rica em triglicerídeos, como óleo vegetal ou gordura animal [16-18]. Assim, como matéria-prima, para a produção de biodiesel, são

usados óleos vegetais (comestíveis e não comestíveis) crus, tais como colza, soja e palma, e também óleos vegetais usados e gorduras animais [18].

Em termos nacionais, no Decreto-Lei nº 62/2006 de 21 de março, que transpõe para a Legislação Portuguesa a Diretiva 2003/30/CE, «Biodiesel» é definido “como um éster metílico produzido a partir de óleos vegetais ou animais, com qualidade de combustível para motores diesel, para utilização como biocombustível”.

O biodiesel é um combustível com propriedades muito semelhantes às do diesel convencional podendo, por isso, ser usado como combustível de substituição para o diesel tradicional em qualquer motor de ignição por compressão (diesel) com pouca ou nenhuma modificação [17].

O uso de biocombustíveis começou na década de 1880. Embora não coincidentes nas datas da primeira aplicação, diferentes publicações [16-19] se referem a Rudolph Diesel como o pioneiro na operação de um motor com óleo de amendoim, sendo a primeira demonstração pública desta aplicação feita Exposição Mundial de Paris em 1900 [16-17]. Os óleos vegetais foram usados como diesel combustível em 1930 e 1940, mas geralmente em condições de emergência, como a Segunda Guerra Mundial [16].

Na Europa, o uso comercial de biodiesel iniciou-se depois 1980, tendo a sua utilização vindo a aumentar, em particular durante os últimos anos. Para tal, terá contribuído a Diretiva 2003/30/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 8 de maio de 2003, relativa à promoção da utilização de biocombustíveis ou de outros combustíveis renováveis nos transportes [16]. De acordo com esta diretiva, os Estados-Membros deveriam assegurar a colocação nos seus mercados de uma proporção mínima de biocombustíveis e de outros combustíveis renováveis, e estabelecer metas indicativas nacionais para o efeito. Mais tarde, esta diretiva foi alterada e subsequentemente revogada pela Diretiva 2009/28/CE, relativa à promoção da utilização de energia proveniente de fontes renováveis, que veio fixar uma meta de incorporação de 10 % de fontes de energia renovável até ao ano de 2020 no consumo final de energia no sector dos transportes.

Em Portugal, o Decreto-Lei nº117/2010 de 25 de outubro que transpõe para a legislação nacional a Diretiva 2009/28/CE, estabelece os critérios de sustentabilidade de produção e utilização de biocombustíveis e de bio líquidos, independentemente da sua origem; estabelece os mecanismos de promoção de biocombustíveis nos transportes terrestre; e define os limites de incorporação obrigatória de biocombustíveis para os anos de 2011 a 2020.

A presente versão da norma europeia EN 14214 que regula a qualidade do biodiesel foi publicada em novembro de 2008 [19].

2.1.1. Processo Produtivo do Biodiesel na Prio Biocombustíveis

O óleo vegetal não pode ser usado diretamente em motores a diesel devido à sua maior viscosidade, o que causa um problema como atomização mais fraca do combustível e uma operação menos precisa dos injetores de combustível no motor [17, 19]. No entanto, alguns processos podem ser usados para produzir biodiesel e reduzir a viscosidade dos óleos vegetais. As técnicas disponíveis são pirólise, micro emulsificação, diluição e transesterificação [19]. De entre todas as técnicas de conversão, o processo de transesterificação é o processo económico e eficiente que é amplamente utilizado para a produção de biodiesel e aquele que é usado no processo produtivo na Prio Biocombustíveis.

A transesterificação consiste na reação dos triglicerídeos do óleo, seus constituintes maioritários, com um álcool, na presença de um catalisador. Desta reação resultam o biodiesel e glicerina:



Na Prio Biocombustíveis, a produção de biodiesel passa por várias etapas/processos, primeiro na ação de produção de biodiesel com as especificações corretas e, por fim, no tratamento dos subprodutos, para que adquiram as condições necessárias à sua comercialização. Assim, o processo é dividido em 5 etapas distintas como indicadas na Figura 2.1.

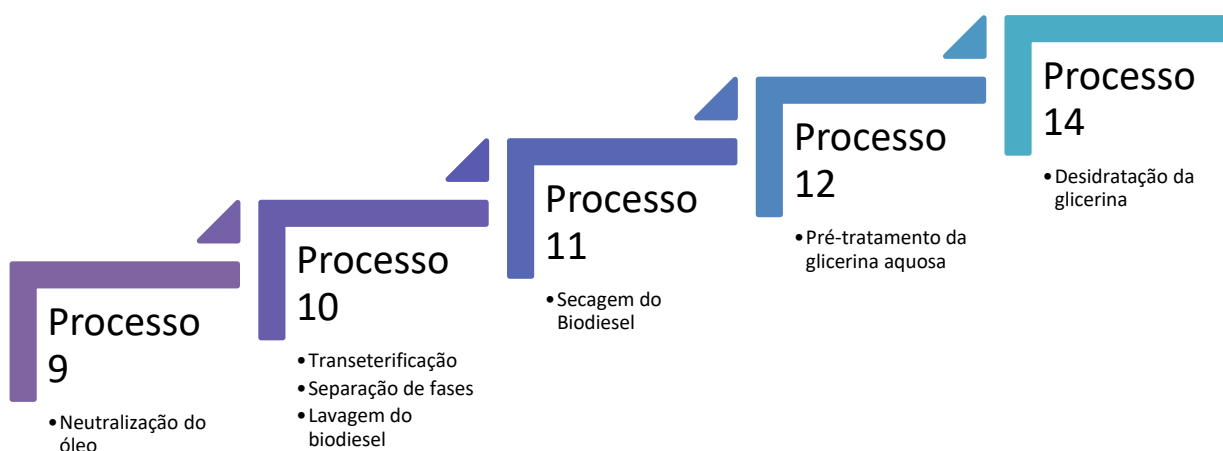


Figura 2.1 - Processo de Produção simplificado.

Na fábrica da Prio a matéria-prima predominante é o UCO (*used cooking oil* – óleo usado de origem vegetal), que é misturado com óleos de colza e soja. Devido às características específicas que a colza e a soja conferem, na mistura com o UCO, ao biodiesel final, cada um dos óleos vegetais é utilizado em alturas diferenciadas do ano: a colza no inverno e a soja no verão, de forma a permitir obter um produto em conformidade com as especificações da norma europeia EN 14214 [20].

A Prio recebe o óleo por navio ou por caminhão cisterna, sendo armazenado até se dar início ao processo.

A acidez dos óleos, traduzida pelos níveis de FFA (ácidos gordos livres- *free fatty acids*), é uma característica importante para que haja uma boa reação de transesterificação, pois, se os valores forem elevados ocorrem reações secundárias na produção de biodiesel, prejudicando a reação principal. Assim, o óleo usado na produção de biodiesel passa primeiramente por um pré-tratamento no processo 9, em que é adicionado um ácido para neutralizar os fosfolípidos. Depois é adicionada uma base para reagir com os FFA formando sabões. Os sabões, são um subproduto comercializado pela Prio, retirados por processos físicos, armazenados e posteriormente vendidos a terceiros para fins técnicos.

Os “sabões” são retirados do óleo por uma primeira centrifuga que efetua uma separação grosseira. Depois o óleo passa novamente por outra centrifuga que retira alguns restos de “sabões” e grande parte da água nele contida. Posteriormente segue para um secador a vácuo (secador que baixa a pressão atmosférica permitindo assim que o ponto de ebulição da água baixe e que esta evapore a temperaturas inferiores), obtendo-se então o óleo refinado ou óleo neutro que é armazenado num tanque.

Finda esta etapa, o óleo neutro apresenta níveis de FFA mais baixos, estando obtidas as condições necessárias para que se possa prosseguir para a produção de biodiesel. Segue-se o processo 10, onde se dá, entre outros, a reação de transesterificação, já referida anteriormente.

No processo 10, depois da reação, é feita uma separação de fases por decantação uma vez que os dois produtos da reação, glicerina e biodiesel, são imiscíveis e possuem massas volúmicas distintas. Depois de separados, o biodiesel é acidificado de forma a neutralizar o pH para que possa seguir para a lavagem, feita com água quente, sem que haja formação de espuma.

Depois de lavado e retiradas as impurezas segue-se o processo 11, processo de secagem do biodiesel a vácuo e com introdução de vapor.

Por fim, o biodiesel passa por filtros de bolsas seguindo para os tanques diários onde são retiradas amostras e feitos os testes finais para atestar a qualidade do biodiesel e ser armazenado em outros tanques até à sua saída, para venda direta (para outros comercializadores de combustíveis) ou para incorporação no diesel na Prio Supply.

A glicerina proveniente do processo 10, segue para o processo 12 (pré-tratamento da glicerina aquosa) onde sofre um pré-tratamento de forma a ajustar o pH, obtendo-se glicerina aquosa neutralizada seguindo para o processo 14.

No processo 14 (evaporação da água da glicerina), a glicerina aquosa é encaminhada numa primeira fase para um secador a vapor, e por fim para um secador a vácuo, obtendo-se glicerina pronta a comercializar com 85% de glicerol.

Um ciclo do processo leva 24h a cumprir-se na sua totalidade.

2.1.2. Vantagens e Desvantagens do biodiesel

As vantagens e desvantagens da utilização do biodiesel são identificadas em diferentes publicações, como se pode verificar em [18-21]. A utilização como matéria-prima na sua produção, óleo vegetal, constitui a maior vantagem do biodiesel relativamente aos combustíveis de origem fóssil. Sendo um diesel, agrega as vantagens intrínsecas às propriedades do próprio diesel, como a facilidade de transporte, armazenamento, manuseamento, e a sua adaptação aos motores convencionais a diesel. Reunindo ainda as condições “bio” de provir de fontes renováveis, ter uma alta eficiência, altos níveis de cetano (os níveis altos de cetano levam a uma combustão de melhor qualidade, permitindo uma ignição rápida, mas uma combustão lenta, resultando uma combustão de melhor qualidade), uma maior biodegradabilidade (cerca de 4 vezes maior que a do diesel), e a lubricidade conferida pelo baixo teor de enxofre, importante para reduzir o desgaste da fricção dos componentes normalmente lubrificados pelo combustível, levando a um aumento do tempo de vida [22].

A utilização de óleos usados de origem vegetal, torna o processo um pouco mais delicado devido às impurezas provenientes do óleo, o que se revela um desafio acrescido na produção de biodiesel. Estas impurezas comprometem o tempo de vida dos equipamentos e cuidados acrescidos no processo de purificação do óleo, de modo a que esteja nas condições ideais para se dar início ao processo de produção. Porém revela-se um ponto muito importante a nível de impacto ambiental, pois dá utilidade a um resíduo que se evita que muitas vezes seja derramado no ambiente e contamine lençóis de água.

O óleo virgem, resulta da produção de plantas, plantas estas que ao longo da sua vida precisam de CO₂ para a sua subsistência, CO₂, que é depois libertado na combustão dos veículos, mas que já foi consumido pelas plantas, o que torna um combustível amigo do ambiente, analisando o ciclo do carbono.

Dada a sua proximidade com o diesel, as principais desvantagens do biodiesel surgem na comparação com os dois. A sua viscosidade é mais elevada, levando a uma maior dificuldade na sua bombagem, tem um menor conteúdo de energia, levando a uma potência e velocidade de motor mais reduzidas, resultando num consumo superior ao do diesel em cerca de 5%, existindo também o problema de arranque a frio. Outro fator importante são as maiores emissões de óxidos de nitrogénio [22].

2.2. Caracterização Energética da Prio Biocombustíveis⁴

Na Prio Biocombustíveis consome-se eletricidade e gás natural. Estando os objetivos do Estágios relacionados apenas com a utilização de eletricidade, nesta caracterização energética da Prio Biocombustíveis dar-se-á ênfase apenas àquela forma de energia.

No ano de 2015, ano de referência da última Auditoria Energética realizada, os valores do consumo anual na Prio Biocombustíveis foram os apresentados na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 - Consumos por fonte de energia em 2015.

Fonte de energia	Consumo anual		%
	Unidades	kgep	
Eletricidade	3 756 577 kWh	807 664	30,3
Gás Natural	2 054 172 m ³	1 859 254	69,7
Total	-	2 666 918	100

⁴ Baseado em [14].

Apresentando a Prio Biocombustíveis um consumo global anual superior a 500 tep, classifica-a como instalação consumidora intensiva de energia (CIE) estando, por isso, abrangida pelo Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia (SGCIE) (Decreto-Lei n.º 71/2008, Lei n.º 7/2013 e Decreto-Lei n.º 68-A/2015), no segundo escalão, dado que o seu consumo ultrapassa os 1000 tep/ano.

Assim, de acordo com a legislação em vigor, a Prio Biocombustíveis está obrigada a atingir uma redução mínima de 6% em 6 anos (à data da realização da Auditoria e posteriormente alterado pelo Decreto-Lei n.º 71/2008, para 6% em 8 anos) nos valores da Intensidade Energética (com carácter obrigatório) e do Consumo Específico de Energia (se aplicável) e à manutenção do valor de Intensidade Carbónica verificado no ano de referência.

Na Tabela 2.2, Tabela 2.3 e Tabela 2.4 indicam-se os valores dos indicadores referidos: Consumo Específico de Energia (CEE), Intensidade Energética (IE) e Intensidade Carbónica (IC), calculados para o ano de referência, 2015, tendo em consideração, respetivamente, o valor anual de produção de biodiesel, o Valor Acrescentado Bruto (VAB) e os Fatores de Emissão de gases com efeito de estufa, referidos a quilograma de CO₂ equivalente, para cada uma das formas de energia usadas.

Tabela 2.2 - Consumo Específico de Energia em 2015.

Produto	Produção [ton]	Consumo [kgep]	CEE [kgep/ton]
Biodiesel	80 346	2 666 918	33,19

Tabela 2.3 - Intensidade Energética em 2015.

	Valor anual [€]	Consumo [kgep]	IE [kgep/€]
VAB	3 485 065	2 666 918	0,765

Tabela 2.4 - Emissões de CO₂ e Intensidade Carbónica em 2015.

	Consumo [kgep]	Fator de Emissão⁵ [kgCO₂eq/kgep]	Emissões [tCO₂eq]
Eletricidade	807 664	2,1860	1 765,6
Gás Natural	1 859 254	2,6837	4 989,7
Total	2 666 918	-	6 755,3

Intensidade Carbónica **2,533** **kgCO₂eq/kgep**

O Relatório da Auditoria Energética apresenta, também, as medidas de racionalização de consumos identificadas durante a sua realização. As medidas identificadas e respetiva avaliação estão descritas na Tabela 2.5. Como se pode observar nesta tabela, uma das medidas de racionalização propostas é: “Racionalizar utilização das traçagens elétricas”. A análise detalhada dos circuitos e consumos associados às traçagens elétricas com vista à elaboração de propostas para a otimização da rede de traçagens constituiu um dos objetivos principais do Estágio realizado.

Tabela 2.5 - Resumo das medidas de racionalização.

Medidas	Designação	Economia de Energia				Investimento	Payback	% da economia global
		Electric. kWh/ano	G.N. m3(n)/ano	Total kgep/ano	Total euros/ano			
1	Substituição dos motores das bombas de água de refrigeração, por motores IE3, controlados por variadores de velocidade.	143 761	-	30 909	14 284	15 450	1,1	1,2
2	Substituição de compressor de ar de funcionamento carga/vazio, por compressor de velocidade variável.	41 672	-	8 960	4 140	9 150	2,2	0,3
3	Otimização do funcionamento da caldeira.	48 888	30 813	38 400	16 766	32 860	2,0	1,4
4	Substituição da iluminação existente por LED e fluorescente T5.	72 943		15 683	7 247	90 000	12,4	0,6
5	Concluir isolamento térmico de acessórios da rede de vapor e condensados.		20 186	18 271	7 802	4 677	0,6	0,7
6	Controlar automaticamente o consumo de vapor do evaporador da unidade 14.		13 976	12 650	5 402	2 500	0,5	0,5
7	Racionalizar a utilização das traçagens elétricas	53 379		11 476	5 304	10 000	1,9	0,4
8	Instalar Sistema de Gestão de Energia (SGE).	37 566	20 542	26 669	11 672	30 000	2,6	1,0
Total		398 209	85 517	163 017	72 617	194 637	2,7	6,1

⁵ De acordo com o Despacho n.º 17313/2008.

2.2.1. Rede elétrica

A instalação da Prio Biocombustíveis é alimentada da rede elétrica de Média Tensão (MT) por uma linha trifásica de 15 kV. A transformação para Baixa Tensão (BT) é realizada através de um Posto de Transformação (PT), equipado com um transformador com uma potência nominal de 1250 kVA. O PT é ligado depois a um Quadro Geral de Baixa Tensão (QGBT), a partir do qual se faz a distribuição da energia elétrica para o resto da unidade fabril, através de vários quadros para os diferentes setores de atividade.

Na Figura 2.2 apresenta-se, de forma não exaustiva, a distribuição da energia elétrica a partir do QGBT pelos vários setores, equipamentos e quadros parciais.

QGBT	Q.LURGI (Processo)	Setor 7: Tanque Farm
		Setor 9: Neutralização
		Setor 10: Transesterificação
		Setor 11: Secagem Biodiesel
		Setor 12: Tratamento Glicerina
		Setor 14: Secagem Glicerina
		Traçagens Elétricas
	QP1	QIE - Iluminação Exterior
		QIT - IeT Tank Farm
		Q. UPS
		Q. Escrit. R/C
		Q. Escrit. 1º Andar
		Q. AVAC
		Separadora Glicerol (P10)
	Q. ETA 1	
	Q. ETA 2	
	Q. ETAR	
	Q. Compressores ar	
	Q. Torres de Refrigeração	
	Q. Caldeira	

Figura 2.2-Esquema do QGBT.

A alimentação de emergência, nomeadamente iluminação, sistemas de comando e de alarme, é feita por um grupo eletrogéneo (um gerador a diesel) de 1000 kVA.

A compensação do fator de potência é feita com uma bateria de condensadores do tipo automático, da *System Eletric*, com 250 kVAr, divididos em 6 escalões, controlados por um relé varimétrico CR2000.

2.2.2. Diagrama de carga global da instalação

Na Figura 2.3 apresenta-se o diagrama de carga geral da unidade fabril correspondente à semana em que decorreram os trabalhos de campo da auditoria.

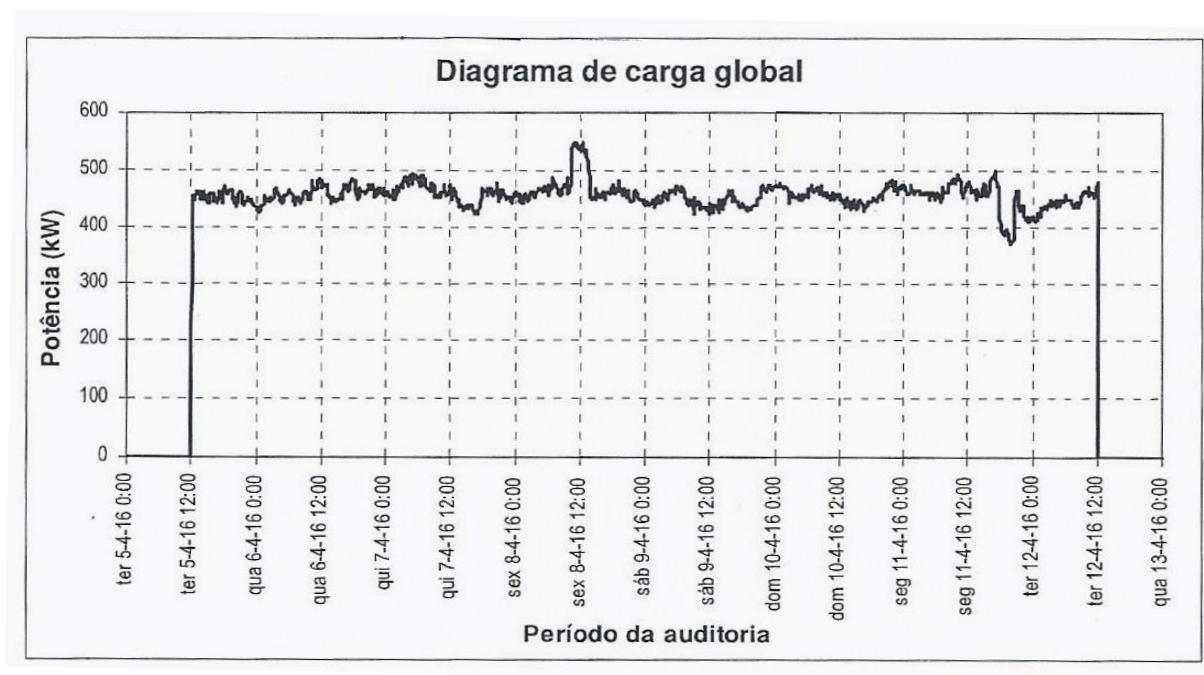


Figura 2.3 - Diagrama de carga da alimentação geral de energia elétrica.

Como se pode observar a partir da Figura 2.3, o diagrama de carga apresenta um padrão de consumo relativamente estável com uma potência ativa a variar entre os 400 e 500 kW, evidenciando o regime de funcionamento contínuo das instalações.

Com base nos dados de consumo recolhidos na semana da Auditoria, foram obtidos os consumos médios diário e semanal da instalação e que são apresentados na Tabela 2.6.

Tabela 2.6 - Consumos elétricos médios da instalação.

Período	Dia útil [kWh]	Sábado [kWh]	Domingo [kWh]	Semanal [kWh]
5 a 12/04/2016	10971	10728	10930	76515

Dividindo o consumo total de energia do ano 2015 (3756577 kWh) pelo consumo registado na semana da auditoria (76515 kWh), obtém-se aproximadamente 49 semanas, o que indica que o valor registado de consumo durante a auditoria é um valor representativo do consumo médio semanal do ano de referência.

2.2.3. Traçagens elétricas

Parte dos tanques (usados para o armazenamento da matéria-prima, produtos intermédios e aditivos, produto final e subprodutos) e das tubagens são aquecidos através de serpentinas de vapor ou de traçagens elétricas.

As traçagens elétricas são constituídas por cerca de 120 circuitos, num total de 87,9 kW de potência instalada, distribuindo-se em 7,8 e 81,9 kW pelos tanques e tubagens, respetivamente. Apesar de alguns dos circuitos destas traçagens estarem já desligados (de acordo com a medida prevista no anterior Plano de racionalização Energética), uma parte significativa destes circuitos, correspondendo entre 42 a 48 kW, está permanentemente ligada, o que se traduz num grande consumo anual de energia elétrica nestes circuitos. De acordo com os dados obtidos durante a realização da Auditoria, o consumo de energia elétrica nos circuitos das traçagens equivale a cerca de 10% do consumo global da instalação.

Na Tabela 2.7 apresentam-se os valores das potências médias medidas nos circuitos das traçagens elétricas, obtidos com recurso a monitorizações pontuais, realizadas durante a Auditoria.

Tabela 2.7 - Potências médias medidas nos circuitos das traçagens elétricas.

Circuito	Potência kW	Circuito	Potência kW	Circuito	Potência kW
07HC7-1	1,38	07HC7-29	0,23	10HC10-8	0,22
07HC7-2	0,51	07HCB7-1	1,03	10HC10-10	1,76
07HC7-3	1,96	07HCB7-3	2,10	10HC10-11	2,34
07HC7-4	0,95	07HCB7-4	0,38	10HC10-12	1,20
07HC7-5	0,31	09HC9-1	0,19	10HC10-13	1,61
07HC7-6	1,81	09HC9-2	0,06	10HC10-14	1,87
07HC7-11	0,31	09HC9-3	0,16	10HC10-20	0,83
07HC7-13	0,81	09HC9-5	0,17	10HC10-21	0,59
07HC7-15	2,34	09HCB9-1	0,13	10HC10-24	0,13
07HC7-16	1,55	09HCB9-2	0,22	10HC10-25	0,29
07HC7-17	1,43	09HCB9-3	1,11	10HC10-26	0,07
07HC7-19	4,63	10HC10-2	0,23	10HC10-27	1,00
07HC7-23	1,25	10HC10-3	0,63	10HC10-28	0,87
07HC7-24	1,00	10HC10-4	0,16	10HCB10-2	0,13
07HC7-25a	1,00	10HC10-5	0,83	12HCB12-1	0,14
07HC7-25b	0,95	10HC10-6	0,28	12HCB11-1	0,28
07HC7-26	1,00	10HC10-7	0,30	12HCB11-2	0,22
Total	44,95				

3. Traçagens - Enquadramento Teórico

Na indústria, em processos que envolvem movimentação de fluídos cuja viscosidade é afetada pelas variações da temperatura ambiente, há a necessidade de manter uma determinada temperatura, de modo a [23]:

- Manter uma baixa viscosidade, de forma a que o fluído possa circular mais facilmente através das tubagens dos processos industriais. Uma elevada viscosidade pode danificar as componentes mecânicas devido ao esforço exercido pelo fluído;
- Evitar a solidificação do fluído, o que levaria a um bloqueio da tubagem ou outros equipamentos, como bombas ou filtros. Uma completa solidificação pode implicar danos irreversíveis ao sistema;
- Evitar a condensação, em caso de gases, que pode provocar um mau funcionamento da instrumentação usada.

Normalmente, durante os períodos normais de produtividade, o fluído usado nos diferentes processos industriais mantém à temperatura. No entanto, em determinadas situações, de que são exemplo, os períodos de não produtividade, e tubagens com distâncias muito elevadas, dificilmente a temperatura do fluído se manterá constante, levando a uma perda de temperatura progressiva e podendo atingir valores inaceitáveis. Para evitar estas situações nos processos industriais em que se torna importante manter uma temperatura constante nos fluídos usados, recorre-se às traçagens de [23].

Traçagens de aquecimento são sistemas de aquecimento criados para compensar a perda de calor ao longo de uma determinada tubagem. Existem três tipos principais de traçagem: a vapor, por fluídos e elétrica. As traçagens por fluídos e a vapor funcionam de forma idêntica e, por sua vez, de forma semelhante a um permutador de calor. É feita a montagem de uma rede de tubos fixa ao longo da extensão da tubagem do processo, que permite a troca de calor entre o fluído ou vapor da traçagem com o fluído do processo. A traçagem elétrica, consiste na montagem de um condutor puramente resistivo fixo à tubagem do processo, dimensionado com uma determinada potência, que transfere a energia dissipada para a tubagem [23].

Desde 1900, que os sistemas de traçagens a vapor têm sido o principal meio de manter os fluídos, como resíduos de petróleo, alcatrão e ceras, a circular pelas tubagens e equipamentos das indústrias petrolíferas e indústrias químicas. Quando as temperaturas eram demasiado elevadas para serem praticadas com vapor, eram utilizadas traçagens de fluídos, com óleos

minerais, capazes de atingir temperaturas como 326°C o que, para o vapor, seria necessário que este operasse a uma pressão de 107 bar [24].

Depois da segunda guerra mundial, com o crescimento das indústrias petrolíferas e químicas, começou a haver a necessidade de controlar o aumento de temperatura para determinados fluídos, de forma a que não compromettesse a segurança das pessoas e instalações nem as propriedades do próprio fluído. O sistema de traçagens a vapor, existente na altura, encontrava-se inadequado para os requisitos pretendidos já que aquele sistema era pouco flexível, tornando as instalações mais complexas e aumentando quer os custos de instalação quer os custos de manutenção. Esta situação criou a oportunidade do desenvolvimento de outros métodos de traçagem – a traçagem elétrica.

A traçagem elétrica já existia desde o início do século mas, apesar de se apresentar como uma solução muito mais simples, mais eficaz, segura e mais barata para manter constante a temperatura em tubagens e depósitos [25], apresentava também diversos problemas, nomeadamente devido às elevadas potências requeridas. Nos anos 50 do século passado, o empenho no desenvolvimento de traçagens mais duráveis e com sistemas de controlo de temperatura automáticos trouxeram notáveis melhorias e, nos anos 60, a traçagem elétrica começou a ser aceite como um método viável de traçagem comparativamente com as traçagens a vapor ou por fluídos [24].

Atualmente, existe uma vasta gama de métodos de traçagem a vapor que garantem, para baixas e médias temperaturas, taxas de transferência de calor mais eficazes e seguras, permitindo a operação em diversos tipos de fluídos, como soda cáustica, resinas, ácidos e linhas de água, que anteriormente não podiam ser aquecidos com traçagem a vapor devido ao calor excessivo [24].

Por sua vez, as traçagens elétricas apresentam também sistemas mais modernos de controlo de temperatura. Polímeros de alta temperatura e métodos de desenvolvimento avançados conduziram ao desenvolvimento de novos e melhorados cabos de aquecimento autorreguláveis e limitadores de potência. Estes novos sistemas de traçagem permitem que os cabos possam atuar na tubagem a temperaturas de 149°C onde, no passado, teriam sido utilizados o vapor, os fluídos térmicos quentes ou os cabos de traçagem com isolamento mineral revestidos de cobre. Adicionalmente, as ligas de metal de alta temperatura proporcionaram um meio para aumentar o índice de manutenção de temperatura dos cabos de traçagem semi-flexíveis com isolamento mineral até 500°C e com temperaturas de exposição até 593°C [24].

As traçagens elétricas podem dispor de autorregulação, o que permite ajustar a temperatura dos cabos de traçagem à temperatura em contacto ao longo da tubagem. O cabo com autorregulação é constituído por dois condutores de cobre paralelos, entre os quais está instalado um material semicondutor de resistência variável [25].

Por outro lado, as traçagens de potência constante, que não possuem autorregulação, necessitam de outras medidas de precaução, de modo a que se assegure que a temperatura dissipada nunca exceda determinados valores, por forma a evitar provocar qualquer tipo de fonte ignífera. Para tal, é instalado um controlador de temperatura que comanda o circuito elétrico de alimentação do cabo de traçagem [25].

A primeira grande vantagem da utilização de traçagens elétricas é a acessibilidade da fonte de energia, pois qualquer instalação necessita de energia elétrica para operar. Existe uma variedade de métodos de traçagens elétricas, adaptando-se aos tubos e equipamentos utilizados, podendo operar a temperaturas de congelamento muito baixas, indo até temperaturas de 500 °C, consoante a potência projetada. A traçagem elétrica possui também um alcance de operação bastante alargado, podendo operar em curtas distâncias e podendo chegar a 25 km. Este tipo de traçagem é recomendado para uso em produtos sensíveis, uma vez que é possível, através de equipamentos de controlo, manter a temperatura dentro dos limites desejados de uma gama estreita de valores. Uma vez que não é usado qualquer tipo de fluído, não há necessidade de acessórios, como purgas e, assim sendo, os custos de operação e de manutenção serão reduzidos. Ao longo da história a traçagem elétrica tem-se relevado uma escolha segura para os equipamentos do processo [26].

Contudo, a utilização de traçagens elétricas também possui algumas desvantagens. O cabo da traçagem demora a aquecer, o que pode significar que, se houver uma queda repentina de temperatura devido a uma paragem do processo, a traçagem pode não conseguir acompanhar a queda de temperatura. Apesar de ser um sistema seguro para zonas de risco, não deixa de ser uma potencial fonte de ignição, podendo tornar-se um problema na presença de produtos inflamáveis. Por fim, se a traçagem for mal dimensionada pode provocar um funcionamento contínuo desnecessário, o que se traduzirá num custo mais elevado dado o aumento dos consumos de eletricidade [26].

A gama de utilização de traçagens é vasta, tornando-se indispensável nos projetos industriais para a resolução dos problemas do arrefecimento de tubos e depósitos onde a viscosidade dos produtos é afetada pelas variações da temperatura ambiente [25]. O tipo de aplicação varia com a necessidade, podendo aplicar-se em edifícios, estradas, calçadas, pavimento de aeroportos,

que precisam de ser mantidos livres de gelo. Uma grande categoria da utilização de traçagens são as tubagens, tubos de transporte de águas, produtos petrolíferos, ou qualquer tipo de produto que precisa de ser mantido a uma determinada temperatura [26].

Na produção de biodiesel, área de atuação da Prio Biocombustíveis, existe uma grande variedade de produtos e subprodutos fluídos, quer utilizados quer provenientes da produção, pelo que se torna necessário alguns cuidados com a temperatura desses fluídos.

Quanto mais frio está o fluído mais viscoso este se torna, podendo mesmo ocorrer a mudança de fase e o fluído sofrer solidificação. Esta situação é algo que não pode acontecer pois poria em causa o processo produtivo. Se o fluído solidificar será muito complicado e dispendioso desobstruir a tubagem. Por outro lado, quando o fluído fica mais viscoso, torna mais difícil o seu transporte por bombagem, pondo em risco os equipamentos, tanto devido ao esforço mecânico a que as bombas estão sujeitas, como devido ao esforço elétrico. Nesta situação, o motor da bomba vai tentar compensar o esforço suplementar decorrente do aumento da perda de carga na tubagem, aumentando o consumo, o que se traduzirá no aquecimento do próprio motor e dos condutores. Esta situação leva à diminuição drástica do tempo de vida dos equipamentos e ao aumento do consumo de energia.

O caso mais crítico ocorre quando uma empresa trabalha em regimes descontínuos. Durante os períodos de paragem da atividade, os fluídos ficam em estado estacionário e, se nada houver que reponha a sua temperatura, vai resultar numa perda de calor, com todas as consequências associadas a este facto que, em caso extremo, pode significar a solidificação do fluído nas tubagens.

3.1. Conceitos gerais de aquecimento por traçagens

Quando dois meios estão em contacto e possuem temperaturas diferentes ocorre o fenómeno de transferência de calor. Assim, quando um equipamento, tubo ou tanque, contém um fluído com temperatura superior à do ambiente que o rodeia, vai ocorrer transferência de calor para o meio envolvente, contribuindo para um abaixamento da temperatura do fluído no interior do tubo ou tanque. Por forma a evitar que esse arrefecimento ocorra, é necessário fornecer energia ao fluído.

O fornecimento da energia ao fluído, que compense as perdas de calor para o meio ambiente, pode ser efetuado recorrendo a um sistema de traçagens elétricas corretamente dimensionado. Este dimensionamento terá por base a quantidade de calor que é perdida para o meio ambiente.

Na Figura 3.1 ilustra-se a transferência de calor entre um tubo, no qual é transportado um fluido a uma temperatura elevada, e o meio ambiente.

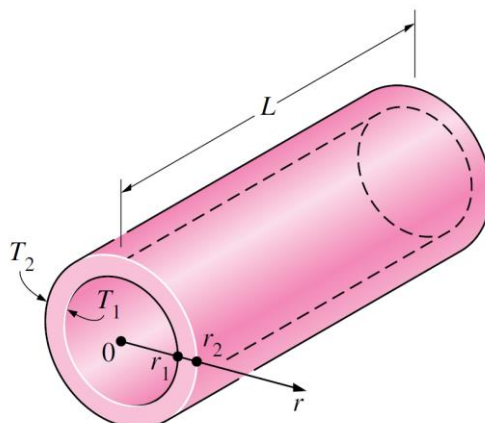


Figura 3.1- Ilustração de transferência de calor num tubo [27].

A fim de calcular a potência a instalar na traçagem elétrica, necessária para compensar as perdas térmicas ao longo da tubagem, recorreremos às equações de transferência de calor.

Para tal, assumem-se os seguintes pressupostos [27]:

- 1- A transferência de calor é estável e não varia com o tempo;
- 2- A transferência de calor é unidimensional e a temperatura do fluido tem uma simetria térmica em relação ao eixo central, portanto $T=T(r)$;
- 3- A condutividade térmica do metal que constitui o tubo ou o isolamento é constante;
- 4- Não há geração de calor.

A equação que traduz a condução de calor num cilindro longo, em que a condutividade térmica no cilindro pode ser assumida como constante e se admite estado estacionário, é dada por [27]:

$$\frac{d}{dr} \left(r \frac{dT}{dr} \right) = 0 \quad (3.1)$$

Com as condições fronteiras dadas por [27]:

$$T(r_1) = T_1 \text{ e } T(r_2) = T_2$$

Integrando a Equação 3.1 em ordem a r [27]:

$$r \frac{dT}{dr} = C_1 \Leftrightarrow \frac{dT}{dr} = \frac{C_1}{r} \quad (3.2)$$

Integrando a Equação 3.2 em ordem a r , novamente, obtém-se [27]:

$$T(r) = C_1 \ln(r) + C_2 \quad (3.3)$$

Aplicando as condições fronteira acima assumidas:

$$T(r_1) = T_1 \rightarrow C_1 \ln(r_1) + C_2 = T_1 \quad (3.4)$$

$$T(r_2) = T_2 \rightarrow C_1 \ln(r_2) + C_2 = T_2 \quad (3.5)$$

As equações 3.4 e 3.5, constituem um sistema de duas equações e duas incógnitas, que resolvido permite obter:

$$C_1 = \frac{T_2 - T_1}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)} \quad (3.6)$$

$$C_2 = T_1 - \frac{T_2 - T_1}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)} \ln(r_1) \quad (3.7)$$

Substituindo C_1 e C_2 na Equação 3.3, vem:

$$T(r) = \frac{\ln\left(\frac{r}{r_1}\right)}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)} (T_2 - T_1) + T_1 \quad (3.8)$$

Obtém-se a Equação 3.8, que permite determinar a variação da temperatura no tubo (ao longo do raio).

Sabendo que a perda de calor pelo fluído corresponde ao calor total transferido por condução através do tubo e é determinada pela primeira Lei de Fourier, obtém-se a Equação 3.9 [27]:

$$Q_{cilindro} = -kA \frac{dT}{dr} \quad (3.9)$$

Em que dT/dr pode ser determinada por derivação da Equação 3.8:

$$\frac{dT}{dr} = \frac{\frac{T_2 - T_1}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}}{r} \quad (3.10)$$

E aplicando na Equação 3.9, obtém-se a equação seguinte:

$$Q_{cilindro} = -kA \frac{dT}{dr} \quad (3.11)$$

$$\Leftrightarrow Q_{cilindro} = -k(2\pi rL) \frac{\frac{T_2 - T_1}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}}{r} \quad (3.12)$$

$$\Leftrightarrow Q_{cilindro} = 2\pi kL \frac{T_1 - T_2}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)} [W] \quad (3.13)$$

Em que $Q_{cilindro}$ corresponde ao calor perdido pelas paredes da tubagem [W], k é a condutividade térmica do isolamento (W/m.K); r_2 é o raio externo do isolamento (mm), r_1 é o raio interno do isolamento, T_1 a temperatura do fluído e T_2 a temperatura ambiente.

Obteve-se, assim, uma expressão (Equação 3.13) que permite calcular a perda de calor de um fluído ao longo de uma tubagem [W], que equivale à energia que é necessária fornecer ao fluído para compensar as perdas de calor, por forma a que se consiga manter a temperatura desejada do fluído constante ao longo de toda a tubagem.

A definição da temperatura ótima de operação coincide com a temperatura a que o fluído deverá ser conservado em toda a tubagem de modo a manter as propriedades físicas adequadas e a não permitir, entre outras, que ocorra a sua solidificação na tubagem.

Uma temperatura de fluído baixa reduz as perdas de calor para o ambiente e, consequentemente, a energia consumida na traçagem. Quanto melhor for a qualidade do isolamento, menor a condutividade térmica do material e menos perdas de calor haverá, levando a um consumo energético na traçagem menor. De forma contrária funciona a temperatura ambiente, quanto mais alta for a temperatura ambiente, menor a energia consumida na traçagem. Quanto maior for a espessura do isolamento menores as perdas de calor na tubagem, pelo que a energia que é necessária fornecer para assegurar a manutenção da temperatura do fluído também será menor.

A necessidade das traçagens provém, como já referido, de compensar as perdas de calor na instalação. O dimensionamento adequado das traçagens exige, assim, uma boa análise das condições de operação de forma a assegurar um bom isolamento das tubagens e dos tanques e a não elevar excessivamente a temperatura de operação do fluído, para não sobre dimensionar a potência das traçagens e assim ter um consumo excessivo de energia.

4. Traçagens Elétricas na Prio Biocombustíveis

Na Prio Biocombustíveis são utilizados sistemas de traçagens elétricas com sistema de autorregulação da temperatura. A necessidade da utilização de traçagens na Prio Biocombustíveis está associada a dois fatores. O primeiro prende-se com as paragens estratégicas para manutenção completa dos equipamentos do processo produtivo, durante as quais permanecem fluídos em algumas tubagens. O segundo fator, apesar de não ser o mais crítico, relaciona-se com o funcionamento contínuo, quando um aumento da viscosidade dos fluídos necessários e resultantes da produção do biodiesel pode comprometer o correto funcionamento dos equipamentos, nomeadamente das bombas.

4.1. Levantamento dos circuitos do quadro elétrico

O mapeamento das traçagens elétricas iniciou-se com o levantamento dos circuitos do respetivo quadro elétrico (Figura 4.1), de modo a perceber como cada circuito atua e a que componentes elétricos está ligado.

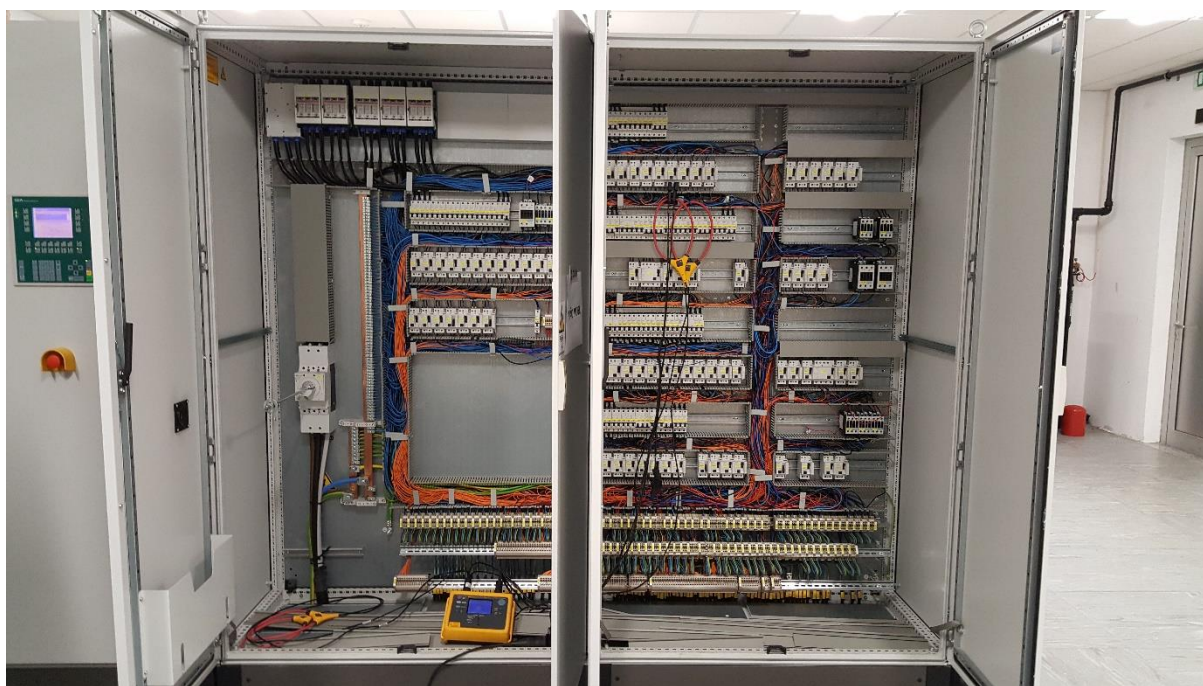


Figura 4.1 - Quadro das traçagens elétricas.

A conclusão inicial foi que todos os circuitos estariam ligados, uma vez que todos os equipamentos de corte e proteção estavam ativos. Com o avançar da análise percebeu-se que nem todos os circuitos estariam ligados. Para o reconhecimento dos circuitos no quadro, seguiram-se os condutores de cada circuito, um a um, de forma a conseguir estabelecer uma relação entre cada equipamento de corte e proteção e o circuito acionado. Este procedimento permitiu verificar que alguns dos circuitos não estavam ligados, uma vez que não tinham continuação, ou seja, existem apenas de reserva, e outros ainda não estão completos, ficando apenas pelo disjuntor ou pelo diferencial.

Na Tabela 4.1 apresenta-se parte da listagem dos componentes do quadro elétrico e a correspondência dos circuitos aos cabos de saída, e a função dos cabos, uma vez que podem ser de comando ou de potência. No Anexo I, apresenta-se a listagem completa dos componentes do quadro elétrico das traçagens.

Tabela 4.1 - Componentes do quadro elétrico das traçagens.

Circuito	Caixa de Fusíveis	Disjuntor	Diferencial	Contactor	ID cabo comando	ID cabo potência
Comando	SV4 F01	SV-F2	-	-	-	-
C 7.14	SV4 F01	07Q14	07F14	-	-	HC7.14B
C 7.15	SV4 F01	07Q15	07F15	07-K15	HC7.15B	HC7.15
C 7.16	SV4 F01	07Q16	07F16	07-K16	HC7.16B	HC7.16
C 7.17	SV4 F01	07Q17	07F17		-	HC7.17B
C 7.18	SV4 F01	07Q18	07F18	07-K18	HC7.18B	HC7.18
C 7.19	SV4 F01	07Q19	07F19	07-K19	HC7.19B	HC7.19
C 7.20	SV4 F01	07Q20	07F20	-	-	-

A designação HC, com a numeração de 1 a 32, refere-se a tubagens e a designação HCB, com a numeração a partir de 99, refere-se a tanques.

Com os dados recolhidos tentou-se condensar o máximo de informação possível sobre os circuitos, elaborando-se uma tabela resumo (Tabela 4.2) do quadro elétrico das traçagens, com

a identificação dos circuitos por processo, a que fase pertencem e a condição de cada circuito (se estão ligados ou não).

Com base nos dados constantes da Tabela 4.2 podemos concluir que o quadro das traçagens tem um total de 92 circuitos, 70 dos quais estão em operação e 22 encontram-se desligados, ou seja, estão de reserva.

Concluída a identificação dos circuitos elaborou-se o desenho do esquema elétrico unifilar do quadro das traçagens com o auxílio do programa *Autocad*, apresentando-se na Figura 4.2 uma página exemplo do esquema unifilar do quadro das traçagens elétricas.

O esquema foi elaborado para que seja possível fazer a identificação de cada circuito e de cada componente elétrico que o constitui, permitindo uma fácil atuação no quadro se e quando for necessário atuar. O esquema completo elaborado é apresentado no Anexo II.

Tabela 4.2 - Tabela resumo dos circuitos do quadro das traçagens.

Processo	7		9		10		11	12
Circuitos	1-32	99-108	1-10	101-105	1-14 / 17-21 / 23 e 24 / 26-30	101-106	1e2	101
Identificação	HC Linhas	HCB Tanques	HC Linhas	HCB Tanques	HC Linhas	HCB Tanques	HCB Tanques	HCB Tanques
Contactores	15/16/18/19/23/25/27	102	-	-	1/14/17	-	-	-
L1	1/4/7/10/13/16/19/21/24/27/30	99/103/106	1/4/7/10	103	2/5/8/11/14/20	101/104	-	101
L2	2/5/8/11/14/17/20/22/25/28/31	100/104/107	2/5/8/101	104	3/6/9/12/18/21/26/29	102/105	1	-
L3	3/6/9/12/15/18/23/26/29/32	101/105/108	3/6/9/102	105	4/7/10/13/19/23/27/30	103/106	2	-
Trifásicos	-	102	-	-	1(avaria)/17	-	-	-
Desligados	20/21/22/30/31/32	99/100/105/106/107/108	8/9/10	104/105	1(avaria)/29/30	105/106	-	-
Total	32 circuitos / 6 desligados	10 circuitos / 6 desligados	10 circuitos / 3 desligados	5 circuitos / 2 desligados	26 circuitos / 3 desligados	6 circuitos / 2 desligados	2	1
	42 circuitos / 12 desligados		15/5 desligados		32/5 desligados			
	92 circuitos => 70 ligados e 22 desligados no quadro elétrico							

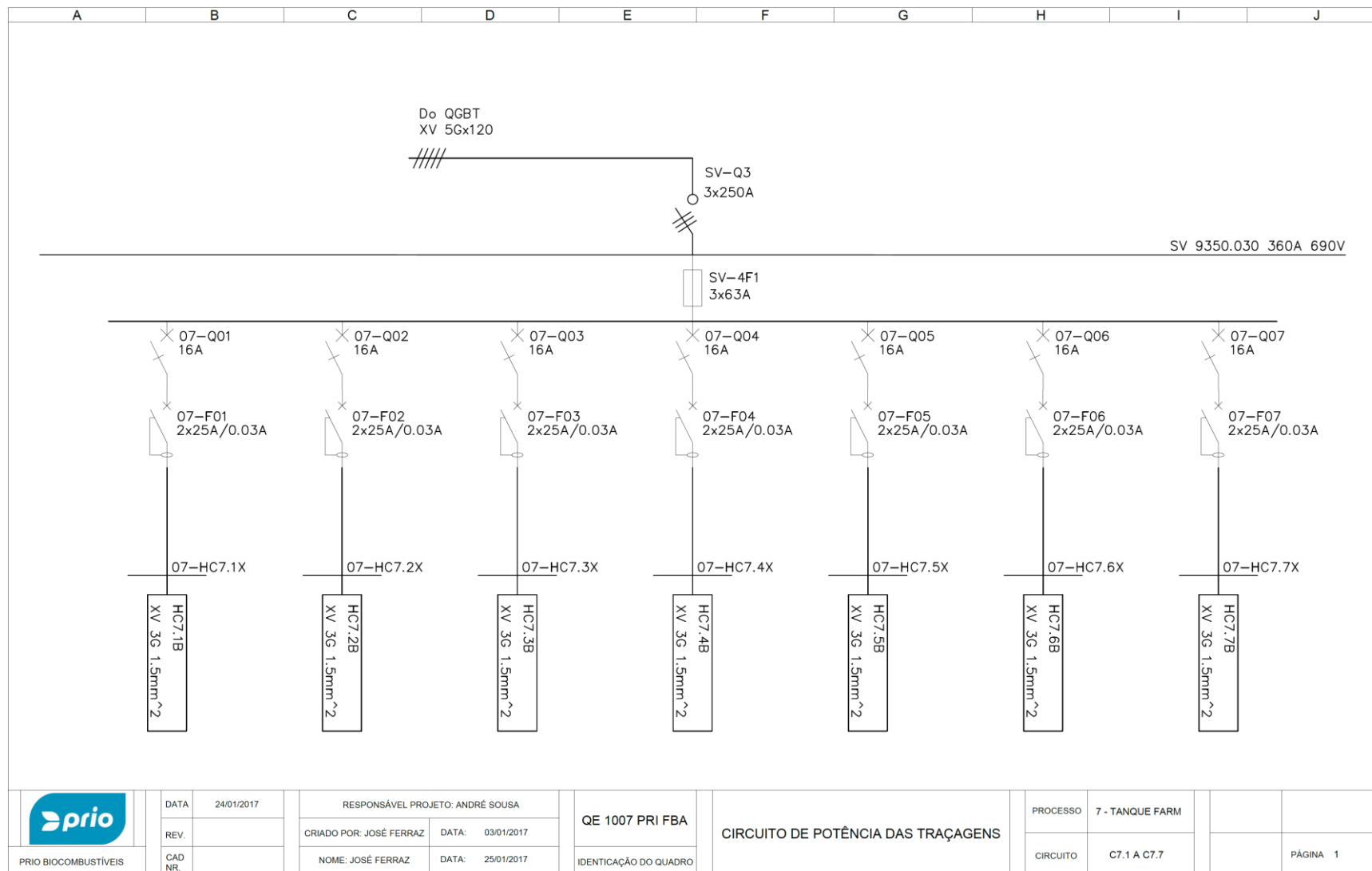


Figura 4.2- Página exemplo do esquema unifilar do quadro de traçagens elétricas.

4.2. Levantamento dos circuitos no processo

Após o levantamento dos circuitos no quadro das traçagens elétricas, seguiu-se o levantamento dos circuitos no processo.

Este procedimento iniciou-se com um reconhecimento de cada circuito de traçagem no processo, com o auxílio da documentação da empresa responsável pela aplicação das traçagens. Para isso, foi necessário fazer o seguimento de cada circuito, de forma a reconhecer cada caminho de traçagem do processo. Com o auxílio de um multímetro e, por vezes, retirando o isolamento das tubagens, foi possível obter os dados apresentados na Tabela 4.3 referentes a apenas um dos circuitos identificados. A restante lista encontra-se presente no Anexo III.

Tabela 4.3 - Compilação da identificação dos circuitos no processo.

Circuito	ID Caixa	Temp. regulada	Alimentação proveniente do quadro/caixa	Localização	Caminho da Traçagem	Fluído	Tipo de Traçagem
C 7.10	HC 7.10 BSTW	10°C	Quadro	Na tubagem de envio de glicerina aquosa para o processo, por cima do contentor do processo no piperack [Pipe]			
	HC 7.10		Cabo HC 7.10 BSTW	Junto à bomba 07G11	Atua na bomba 07G11	Glicerina	PSB 10
					Atua na tubagem de aspiração e bypass da bomba 07G11 até ao tanque 07F11		
					Atua na tubagem de compressão até ao 14E02 no processo		

Para cada circuito foi feita a correspondência com os circuitos dos esquemas elétricos do quadro, com a identificação das respetivas caixas. Estas caixas, denominadas como BSTW (*Safety Temperature Monitor*) ou BTB (*Safety Temperature Limiter*), cujas imagens se apresentam na Figura 4.3, representam as caixas de controlo do circuito, onde as temperaturas

de manutenção e de segurança são definidas. Na Tabela 4.3 é também identificado, para cada circuito, o tipo de alimentação, a qual pode seguir diretamente da caixa de controlo para os circuitos ou as caixas seguintes, ou pode ter origem diretamente do quadro para os circuitos ou caixas de traçagens, uma vez que a caixa de regulação de temperatura serve apenas para enviar um sinal de comando para o contactor do circuito respetivo. A alimentação das diversas caixas dos circuitos, à exceção da caixa de controlo, pode também provir diretamente de um cabo de traçagem. A proveniência da alimentação de cada caixa de cada circuito está também contemplada na Tabela 4.3, assim como a localização de cada caixa de cada circuito e o caminho de cada traçagem, com referência ao tipo de fluído onde a traçagem está a atuar e que tipo de traçagem é utilizada.



Figura 4.3 - BSTW/BTB do lado esquerdo e BSTW do lado direito.

Dependendo do tipo de traçagem, as suas características e aplicações serão diferentes. A partir da análise dos *datasheets* das traçagens, presentes no Anexo IV, pode perceber-se que cada cabo possui um elemento de resistência que limita a emissão de calor ao longo da tubagem. Consoante o tipo de traçagem, existem temperaturas de manutenção mais elevadas ou mais baixas, podendo ter mais elementos isolantes na sua constituição e, assim, potências variadas. Existem cabos que são aplicados de forma a não exceder uma temperatura de operação de 60°C, e outros que não podem exceder os 120°C. Assim, na aplicação das traçagens é necessário ter em consideração a temperatura de operação e as temperaturas limite, que podem ser atingidas

apenas por breves momentos, temperaturas essas que variam conforme as características dos fluídos usados.

Na Prio Biocombustíveis são utilizados três tipos de cabos de traçagens, com as designações: ELK, HSB e PSB.

O cabo do tipo PSB, cuja imagem está representada na Figura 4.4, é usado para temperaturas mais baixas, sendo dimensionado para não exceder os 65°C. A cinta de calefação está disponível para vários tipos de potências e possui uma cobertura de proteção de polímero fluorado ou poliolefina, que protege o traçado de cobre de corrosões e de influências químicas. [28].



Figura 4.4 - Tipo de traçagem PSB [28].

O cabo do tipo HSB, em tudo semelhante ao cabo PSB e representado na Figura 4.5, foi desenvolvido para temperaturas operacionais máximas de 120°C, não podendo exceder os 200°C por mais de 1000 horas [28].



Figura 4.5 - Tipo de traçagem HSB [28].

Por fim, o cabo do tipo ELK (ver Figura 4.6), foi desenvolvido para operar entre as temperaturas de 60°C negativos e os 260°C. Devido às suas pequenas dimensões e flexibilidade a sua instalação é mais facilitada, mesmo em formas irregulares, como válvulas [28].

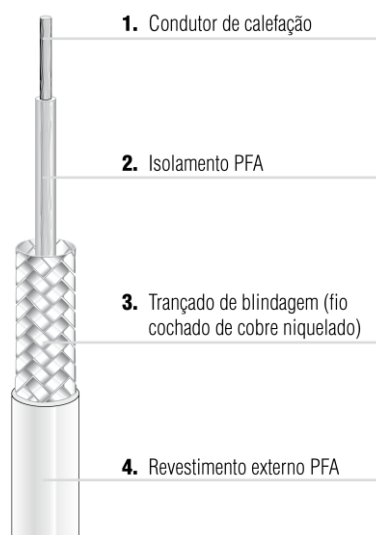


Figura 4.6-Tipo de traçagem ELK [28].

Findo o reconhecimento e a elaboração da tabela de compilação sobre as traçagens do processo (Tabela 4.3), onde cada circuito do processo está associando às saídas do quadro elétrico, foi possível a realização do esquema multifilar, exemplificado na Figura 4.7 para o circuito designado por C7.1.

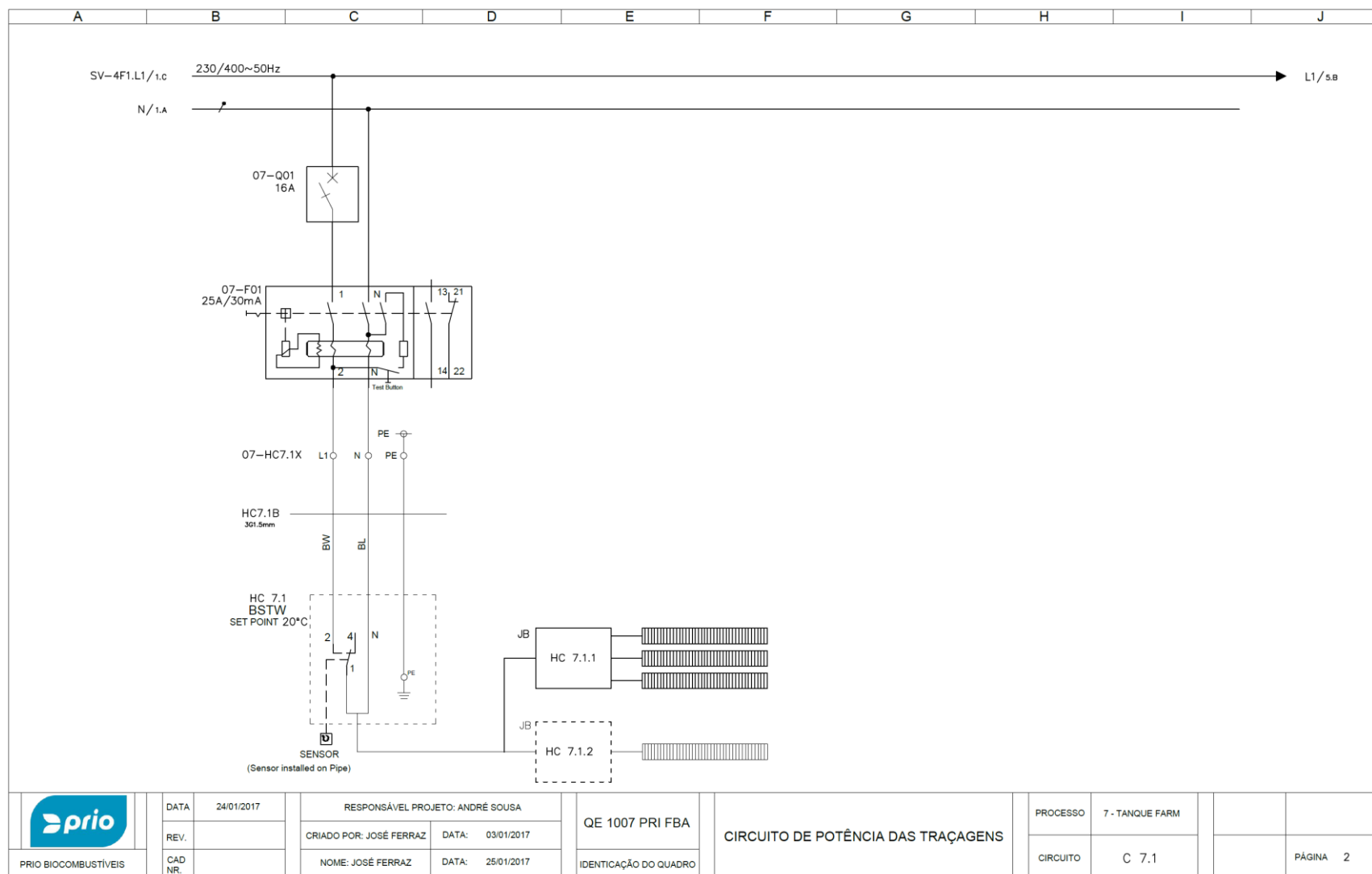


Figura 4.7- Esquema multifilar do circuito C7.1.

No esquema multifilar completo, presente no Anexo V, são apresentados os restantes circuitos individuais, representando os esquemas de potência, comando e sinais. Todos os circuitos do quadro foram representados, notando-se a existência de circuitos de reserva, de forma a ampliar os circuitos, caso seja necessário.

Depois de elaborado o esquema multifilar das traçagens elétricas, procedeu-se a uma atualização dos documentos da empresa que instalou as traçagens na Prio Biocombustíveis. Esta atualização teve como objetivo obter individualmente o desenho de cada traçagem no PID da fábrica, de modo a permitir identificar a atuação de cada circuito nos esquemas do processo., como exemplificado na Figura 4.8 para o circuito C7.1.

No final fez-se uma compilação de todos os circuitos nos mesmos PID's de forma a atualizar os próprios esquemas do processo no que respeita às referências das passagens de traçagens nas tubagens. No Anexo VI está presente a compilação de todas as traçagens nos PID's do processo, apresentando-se no Anexo VII os PID's das traçagens que foram corrigidos à semelhança do que se apresenta na Figura 4.9 para o já referido circuito C7.1.

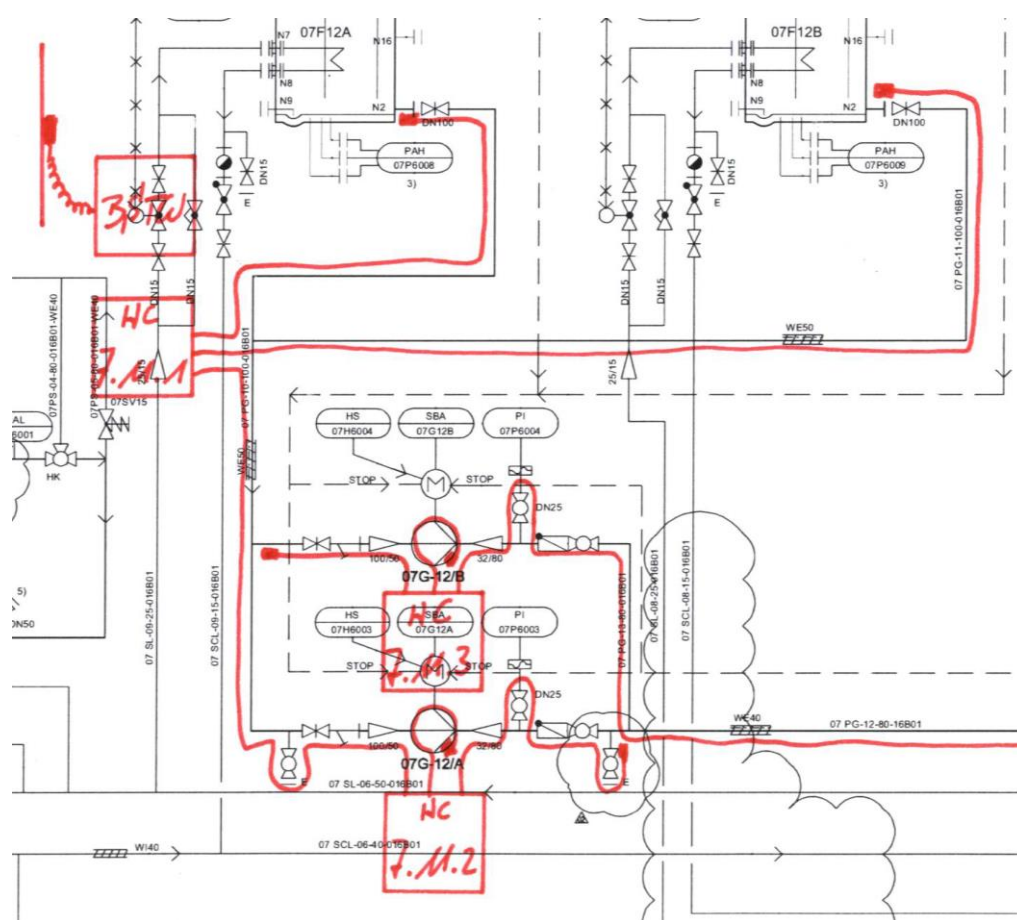


Figura 4.8 - PID do circuito 7.11 da BARTEC.

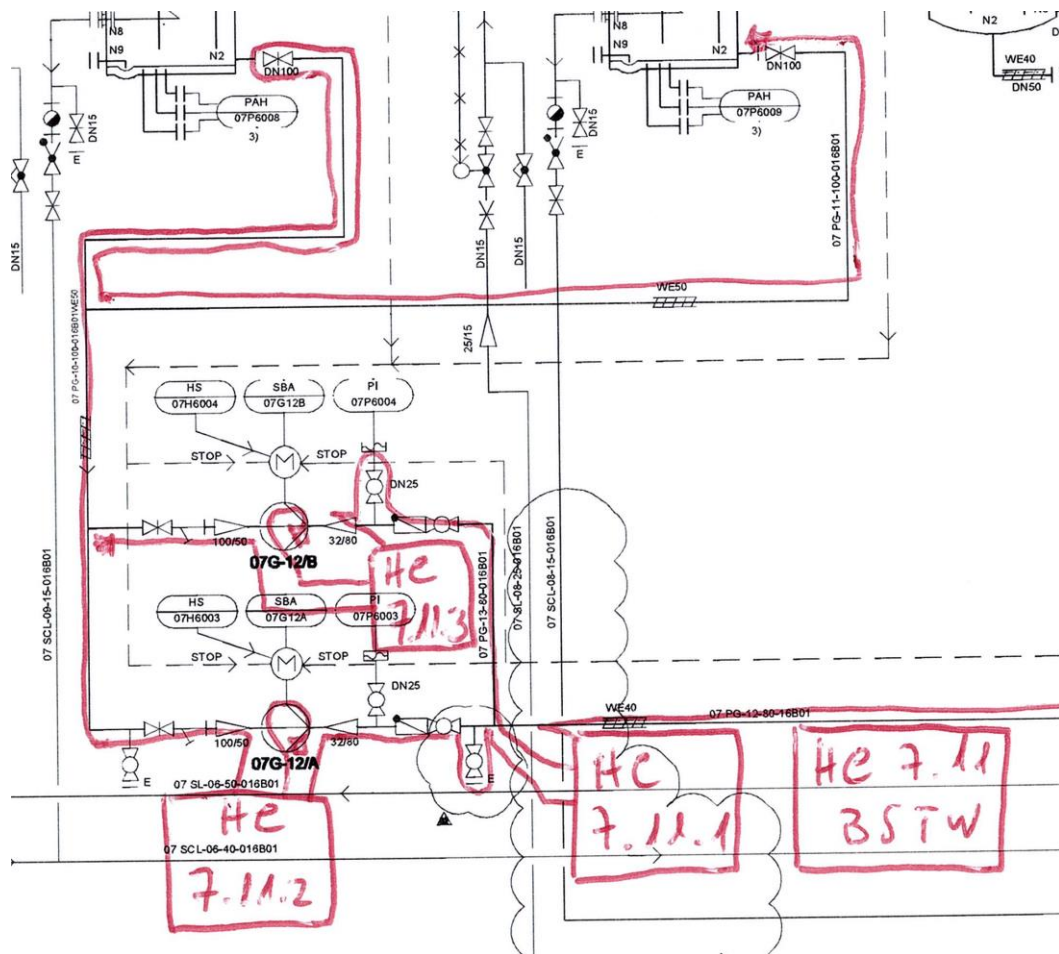


Figura 4.9 - PID do circuito 7.11 alterado.

Comparando os diagramas das figuras 4.8 e 4.9 podemos observar pequenas alterações detetadas no processo como, por exemplo, as traçagens da caixa HC 7.11.1, ou mesmo a localização da caixa de controlo HC 7.11 BSTW.

Finalizada a atualização dos PID's da fábrica relativos às traçagens elétricas, foi feita uma manutenção às caixas das traçagens, juntamente com a sua etiquetagem, de forma a que as caixas ficassem devidamente identificadas e de fácil leitura, mesmo nos pontos mais afastados. O processo de manutenção, como se pode observar na Figura 4.10, foi realizado em todas as caixas de traçagens.



Figura 4.10 - Manutenção e etiquetagem da caixa HC 7.7.

Primeiro procedeu-se à limpeza exterior das caixas, não só para manter um aspeto mais agradável, mas também para preservar as condições das caixas e do material nela contido, uma vez que a corrosão ou penetração de qualquer tipo de fluído é prejudicial à instalação, podendo por em causa o bom funcionamento dos equipamentos. De seguida, as caixas foram abertas para verificação das condições interiores das caixas e lubrificação do material elétrico com um spray apropriado para contactos elétricos. Este procedimento é muito importante, principalmente nas caixas de controlo que possuem termostatos e reguladores de temperatura que necessitam de manutenção cuidada.

4.3. Medições/recolha de dados

Para uma completa caracterização dos circuitos de traçagens, para além conhecimento dos esquemas dos diferentes circuitos, tornou-se necessário obter os respetivos consumos/potências, pelo que se elaborou um plano de medições para cada circuito.

As medições foram efetuadas como ilustrado na Figura 4.11, que exemplifica a medição do circuito C10.24



Figura 4.11 - Medição do circuito C10.24.

O intervalo definido para a monitorização de cada circuito foi de 24 horas de medição contínua, com períodos de integração de 2 minutos e 20 segundos, obtendo-se um total de 4319 leituras de diferentes parâmetros.

Para valores da tensão, da potência, da frequência e da corrente, foi feita uma média dos valores obtidos e para a energia foram retirados os valores acumulados representados na última medição efetuada. Tirando partido das potencialidades do equipamento de medida usado, foi feita a impressão de relatórios respeitantes a cada medição, apresentados no Anexo VIII.

Os dados recolhidos nas monitorizações permitiram não só o estudo dos consumos e potências, mas também dos indicadores da qualidade de energia, como a continuidade tensão (definida pelo número e duração de interrupções) e da qualidade da onda (dada pela frequência, amplitude, forma de onda e simetria do sistema trifásico). Na Figura 4.12 e na Figura 4.13 apresentam-se, respetivamente, as flutuações da tensão e da frequência verificados para o circuito C10.20.

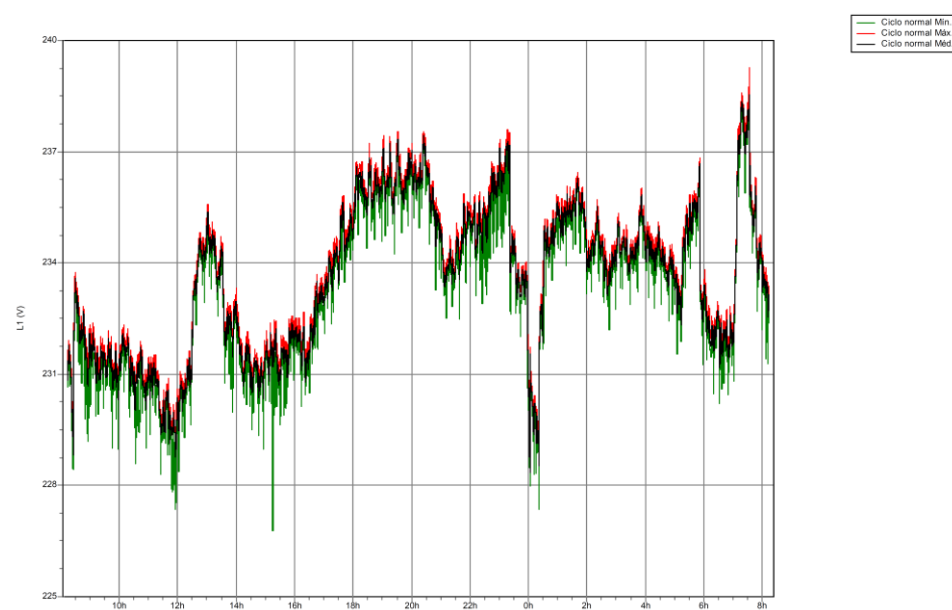


Figura 4.12 - Variação da tensão da medição do circuito C10.20.

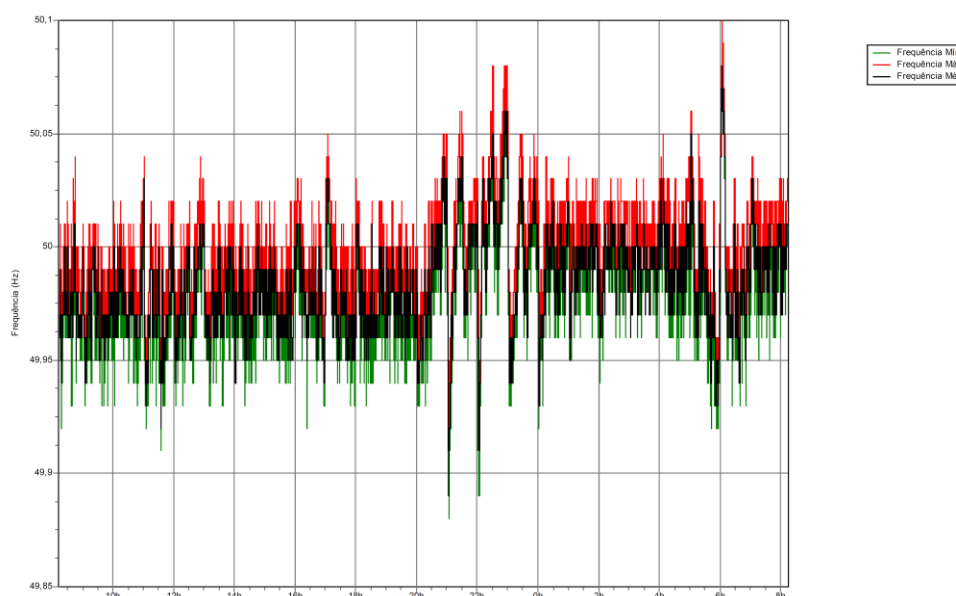


Figura 4.13 - Variação da frequência da medição do circuito C10.20.

Pela análise dos gráficos, os valores da tensão e da frequência estão dentro dos limites do regulamento de qualidade de energia da EDP [29]. A tensão não chega ao limite de 216 V (90%

da tensão eficaz), e a frequência não ultrapassa os valores máximo e mínimo de 52 e 47 Hz, respetivamente (valores limites durante uma análise temporal de uma semana).

Com base nos resultados das diferentes monitorizações, foi elaborada uma tabela com os dados considerados mais relevantes e que é apresentada na sua forma completa no Anexo IX. Na Tabela 4.4, apresenta-se um excerto da tabela elaborada.

Tabela 4.4 - Excerto da tabela de recolha de dados das medições.

Circuito	Data da medição	Tempo de medição	Potência Activa L1 Méd.	Energia Activa L1 Méd.	Localização sensor	Temperatura Ambiente [°C]	Temperatura local [°C]	Temperatura Regulada [°C]
C 7.01	11/01/2017-12/01/2017	24h	1352,7981	32491,896	Dummy Pipe	[7;19]		20
C 7.02	12/01/2017-13/01/2017	24h	524,681201	12621,806	Pipe	[8;16]		40
C 7.03	16/01/2017-17/01/2017	24h	2017,121143	48434,641	Pipe	[1-15]		[40;180]
C 7.04	18/01/2017-19/01/2017	24h	1348,859316	32397,83	Pipe	[-1;11]	27	20
C 7.05	19/01/2017-20/01/2017	24h	299,5114943	7213,847	Pipe	[2;13]	-	25
C 7.06	20/01/2017-21/01/2017	24h	1922,126169	46154,504	Pipe	[1;14]	40 tanque	[35;180]
C 7.07	23/01/2017-24/01/2017	24h	9,382860616	224,307	Pipe	[0;14]	40 tanque	[30;160]
C 7.08	24/01/2017-25/01/2017	24h	56,36523223	1378,641	Dummy Pipe	[1;15]		40

Na Tabela 4.4 faz-se referência ao circuito monitorizado, datas, duração e temperaturas médias ambiente dos períodos de monitorização e obtidas a partir do Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA) e mostradas no Anexo X. Com estes dados é possível fazer uma previsão do funcionamento do circuito da traçagem.

Por exemplo, para o circuito C7.1, monitorizado em janeiro, em que a temperatura ambiente é mais baixa, os valores da temperatura local indicam a temperatura a que estava sujeito o sensor que controla a operação do circuito. Como este circuito se situa num “*dummy pipe*”, significa que está sujeito apenas à variação da temperatura ambiente. Assim, com uma temperatura regulada de 20°C e uma temperatura registada no sensor que não ultrapassou os 19°C, pode concluir-se que o circuito esteve em funcionamento. O funcionamento do circuito pode ser confirmado tanto pelos valores de potência e energia registados como pelo relatório da monitorização, que fornece uma descrição contínua do seu funcionamento.

Na Tabela 4.5 apresentam-se os valores médios da potência obtida para cada um dos circuitos das traçagens.

Tabela 4.5 - Potências médias medidas nos circuitos das traçagens.

Circuito	Potência [kW]	Circuito	Potência [kW]	Circuito	Potência [kW]	Circuito	Potência [kW]
C 7.01	1,353	C 7.19	4,723	C 9.7	-0,003	C 10.17	0,000
C 7.02	0,525	C 7.23	1,322	C 9.101	0,138	C 10.18	2,571
C 7.03	2,017	C 7.24	1,006	C 9.102	0,194	C 10.19	-0,010
C 7.04	1,349	C 7.25	1,813	C 9.103	1,104	C 10.20	0,736
C 7.05	0,300	C 7.26	0,976	C 10.01	0,007	C 10.21	0,318
C 7.06	1,922	C 7.27	0,003	C 10.02	0,230	C 10.23	0,003
C 7.07	0,009	C 7.28	0,000	C 10.03	0,611	C 10.24	0,121
C 7.08	0,056	C 7.29	0,190	C 10.04	0,135	C 10.26	0,240
C 7.09	0,004	C 7.101	1,259	C 10.05	0,796	C 10.27	0,048
C 7.10	0,000	C 7.102	0,007	C 10.06	0,275	C 10.28	0,948
C 7.11	0,369	C 7.103	2,200	C 10.07	0,091	C 10.102	0,114
C 7.12	0,843	C 7.104	0,333	C 10.08	0,193	C 10.103	0,006
C 7.13	0,767	C 9.1	0,186	C 10.09	0,000	C 10.104	0,034
C 7.14	0,543	C 9.2	0,041	C 10.10	1,308	C 11.01	0,254
C 7.15	0,007	C 9.3	0,154	C 10.11	0,000	C 11.02	0,202
C 7.16	1,404	C 9.4	0,010	C 10.12	1,162	C 12.01	0,123
C 7.17	1,204	C 9.5	0,214	C 10.13	1,584	TOTAL	42,556
C 7.18	0,008	C 9.6	0,052	C 10.14	1,851		

Na Tabela 4.5 as cores usadas têm o seguinte significado: a cinzento está representada a fase L1, a laranja a fase L2, a amarelo a fase L3 e a branco os circuitos trifásicos. A partir dos dados apresentados é possível identificar os circuitos que apresentam maiores valores de potência e, consequentemente, aqueles que devem se prioritariamente analisados tendo em vista a implementação de medidas de racionalização energética.

A partir do cruzamento dos dados constantes na Tabela 4.5, e na Tabela 4.2 (Tabela resumo dos circuitos do quadro das traçagens, apresentada na página 30) é possível obter a soma das potências distribuídas por fases e que são mostradas na Tabela 4.6.

Tabela 4.6 - Distribuição da potência por fases.

	L1	L2	L3	Trifásico	Total
Potência total [kW]	19,14	11,08	12,32	0,01	42,56

A partir dos dados da Tabela 4.6 é possível verificar que a fase L1 apresenta um valor de potência um pouco mais elevada que as restantes fases. Este tipo de situação, o desequilíbrio de fases, pode levar a um aumento da potência instalada e a um sobredimensionamento dos equipamentos, pelo que deve tentar-se equilibrar as fases.

Foi feita uma recolha de dados junto do quadro das traçagens tendo em vista a obtenção do diagrama de carga daquele quadro, para posteriormente fazer uma análise comparativa com o diagrama obtido durante a realização da última Auditoria Energética. Na Figura 4.14 e na Tabela 4.7 estão representados, respetivamente, o diagrama de carga do quadro de traçagens obtido em 2016, e os consumos médios diários e semanal registados no mesmo quadro.

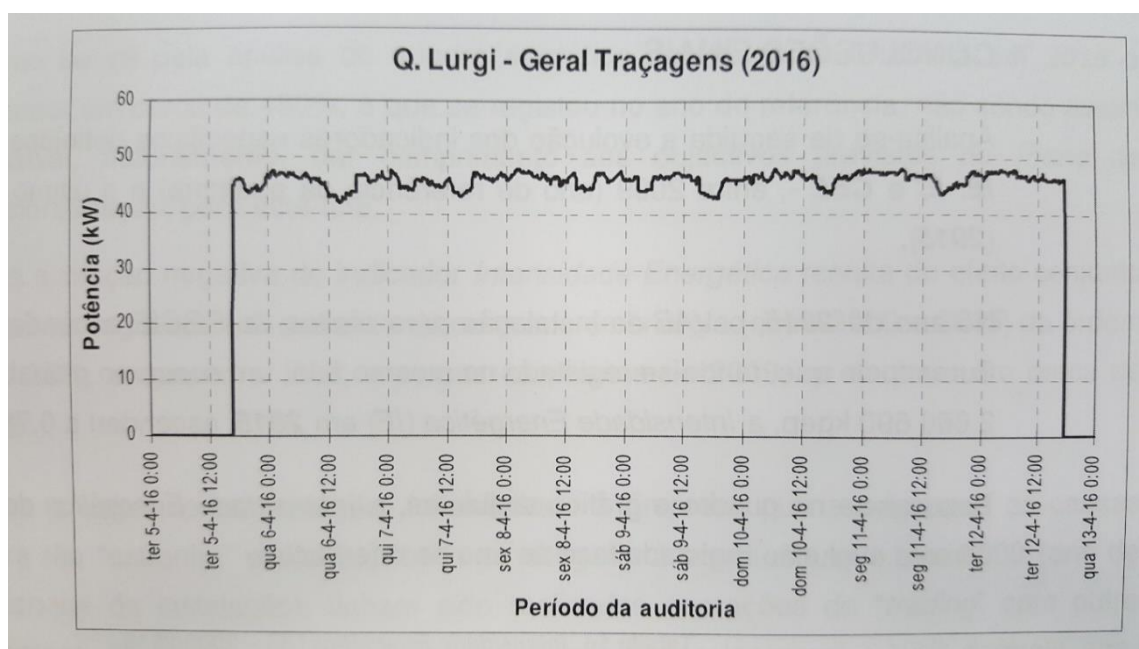
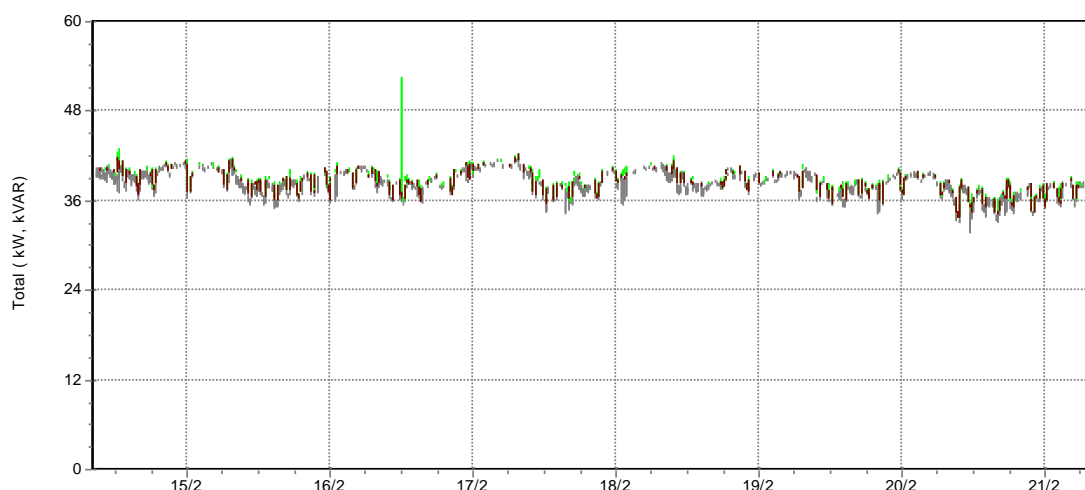


Figura 4.14 - Diagrama de carga do quadro de traçagens realizado na auditoria [14].

Tabela 4.7 - Consumos médios diários e semanal registados no quadro geral das traçagens em 2009 e 2016 [14].

	Dia Útil kWh	Sábado kWh	Domingo kWh	Total kWh
Q. traçagens (2009)	1 268	1 240	1 344	8 924
Q. traçagens (2016)	1 104	1 095	1 114	7 731

Na Figura 4.15 e na Tabela 4.8 estão representados, respetivamente, o diagrama de carga e os valores médios de consumos e potências do quadro geral das traçagens elétricas, resultante dos dados de monitorização ao longo de uma semana, em fevereiro de 2017.

**Figura 4.15 – Diagrama de cargas do quadro das traçagens elétricas da medição realizada no estágio****Tabela 4.8 - Consumos médios diário e semanal registados e potência média no quadro geral das traçagens.**

	Potência média [kW]	Energia média diária [kWh]	Energia total [kWh]
Q.Traçagens	38,922	934,088	6538,618

Comparando os dados obtidos em 2017 para o quadro das traçagens com os correspondentes dados obtidos em 2016, verifica-se que houve uma redução no valor da potência média utilizada de 6 kW, o que corresponde a uma redução de aproximadamente 13,3%.

Relativamente ao consumo de energia nos circuitos das traçagens, verifica-se uma redução semanal de, aproximadamente, 1192 kWh, equivalendo a uma redução anual de 61984 kWh em 2017, face ao correspondente valor obtido em 2016. Esta redução de consumo pode ser justificada com os valores das temperaturas registadas nos dois meses em que se efetuaram as monitorizações - abril de 2016 e fevereiro de 2017, indicadas Tabela 4.9.

Tabela 4.9 - Temperaturas médias registadas [30]–[32].

	Temperatura mínima [°C]	Temperatura máxima [°C]	Velocidade média do vento [km/h]
abril 2016	8.8	15.3	19
fevereiro 2017	8.5	17.4	19

Por outro lado, nas medições individuais dos circuitos, revelam, uma potência total mais elevada, de aproximadamente 42,6 kW, aproximando-se do valor apresentado na auditoria. Revelando a extrema influência das temperaturas registadas em cada medição. Em que estão a temperatura dos fluídos do processo e a temperatura ambiente sujeitas a variações. O que impossibilita uma análise exata, pois existem as condições das medições não são as mesmas, juntamente com a falta de informações de temperaturas registadas aquando das medições.

4.4. Oportunidades de Racionalização de Consumos na Rede de Traçagens

Com base no estudo detalhado dos circuitos de traçagens elétricas e na caracterização dos respetivos consumos energéticos, é possível fazer o levantamento das oportunidades de racionalização de consumos na rede de traçagens da Prio Biocombustíveis.

Para a previsão do funcionamento das traçagens usaram-se as temperaturas médias registadas em Ílhavo no ano de 2016 e apresentadas na Figura 4.16.

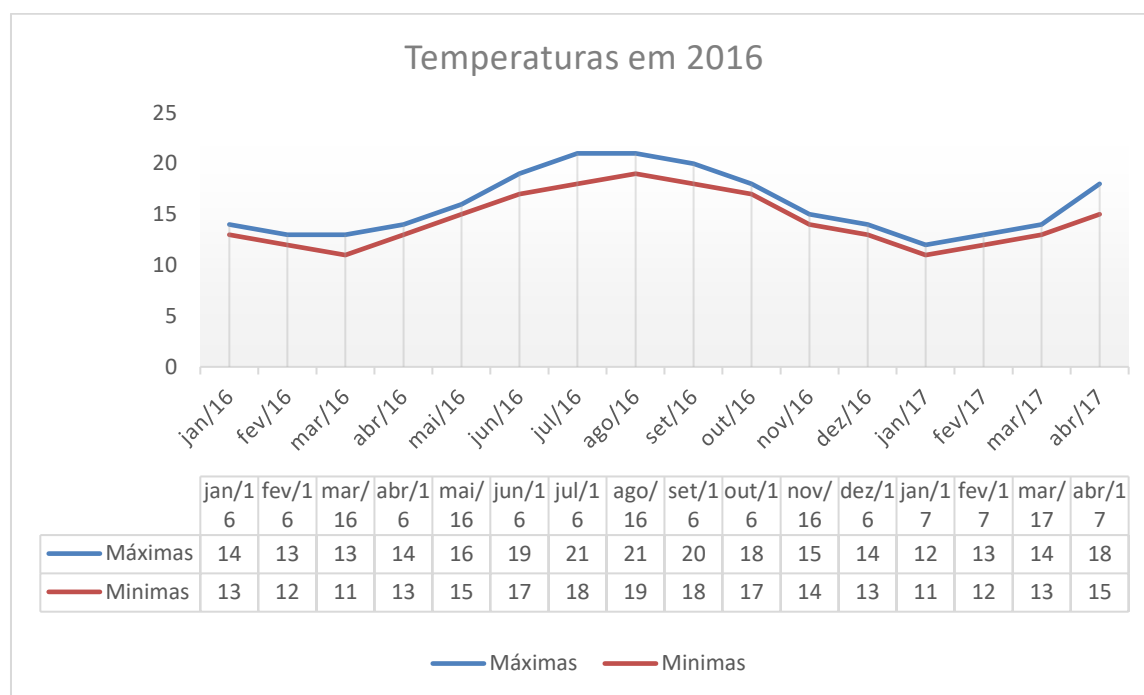


Figura 4.16- Temperaturas registadas em Ílhavo em 2016 [32].

4.4.1. Desligar circuitos sem utilidade

Atualmente, devido às alterações da receita do biodiesel, houve partes do processo produtivo que foram retiradas de serviço ou colocadas em *stand-by*, permanecendo em funcionamento os circuitos de traçagens que atuam nas respetivas tubagens ou tanques. Estes circuitos totalizam uma potência que ronda os 9,6 kW, representando cerca de 22,6% da potência total das traçagens elétricas (valor calculado tendo por base os valores de potência apresentados na Tabela 4.5)

Propõe-se que se desliguem os circuitos das traçagens que não estão a ser utilizados e que se identificam na Tabela 4.10. No caso dos circuitos C10.5, C10.26 e C10.28, recomenda-se que apenas uma parte dos circuitos seja desligada, devido à necessidade de atuação das restantes traçagens.

Tabela 4.10 - Circuitos a desligar.

Circuito	Ação	Circuito	Ação
C7.2	Desligar (Tubagem vazia)	C7.3	Desligar (Tubagem vazia)
C7.9	Desligar (Traçagem cortada)	C7.25	Desligar (Tubagem Vazia)
C7.29	Desligar (Tubagem vazia)	C7.103	Desligar (Tanque vazio)
C7.104	Desligar (Tanque vazio)	-	-
C 10.5	Desligar traçagem da Bomba e da compressão da bomba	C10.7	Desligar
C10.26	Na caixa HC 10.26.1 desligar traçagem que atua desde a misturadora até ao piperack e desde o 11D05 até ao piperack	C10.28	Desligar Caixas HC 10.28.1, HC 10.28.2 e HC 10.28.3, tendo atenção à alimentação da HC 10.28.4
C11.1	Desligar	C11.2	Desligar

Previsão de redução

As temperaturas médias mensais de 2016 variaram entre os 11°C e os 21°C, podendo concluir-se que as traçagens dos circuitos a desligar identificados estiveram todas ligadas. Para a previsão da redução dos consumos de eletricidade que se poderá obter com esta medida, usaram-se os valores de potência de cada um dos circuitos identificados, assim como os dos caminhos de traçagens desligados de alguns circuitos e apresentados, respetivamente na Tabela 4.11 e na Tabela 4.12.

Tendo em conta que nem todos os circuitos serão completamente desligados, a previsão de redução não pode ser total. Nestas situações, foram utilizadas como base de referência os dados da lista de cálculo da empresa que fez a instalação das traçagens, disponibilizados pela Prio Biocombustíveis.

Tabela 4.11 – Previsão de redução dos circuitos a desligar.

Circuito	Potência [kW]	Temperatura local [°C]	Temperatura Regulada [°C]	Ação
C7.2	0,52	Ambiente	40	Desligar (Tubagem vazia)
C7.3	2,02	Ambiente	40-180	Desligar (Tubagem vazia)
C7.9	0,00	Ambiente	-	Desligar (Traçagem cortada)
C7.25	1,81	Ambiente	45	Desligar (Tubagem Vazia)
C7.29	0,19	Ambiente	40	Desligar (Tubagem vazia)
C7.103	2,20	Ambiente	30-180	Desligar (Tanque vazio)
C7.104	0,33	Ambiente	50	Desligar (Tanque vazio)
C10.7	0,09	Ambiente	10	Desligar
C11.1	0,25	41	45	Desligar
C11.2	0,20	41	40	Desligar
Total	7,63			

No total da medida identificada como “Desligar circuitos sem utilidade” prevê-se uma redução de aproximadamente 9,76 kWh traduzindo-se numa redução anual de consumos de 85498 kWh, usando como referência o ano de 2016.

Investimento

O investimento exigido para a implementação desta medida será a mão de obra interna, que tem que proceder ao corte da alimentação dos circuitos no quadro geral das traçagens e ao corte da alimentação de algumas traçagens nas caixas situadas ao longo do processo.

Tabela 4.12 – Caminhos de traçagens a retirar dos circuitos.

Circuito	Potência total medida [kW]	Tamanho total da traçagem ⁶ [m]	Potência da traçagem ⁶ [W/m]	Potência reduzida ⁶ [kW]	Temperatura local [°C]	Temperatura Regulada [°C]	Ação
C 10.5	0,80	49	13,5	0,66	Ambiente	40	Desligar traçagem da Bomba e traçagem da compressão da bomba
C10.26	0,24	39	13,2	0,51	Ambiente	40	Desligar traçagem da misturadora até ao piperack e traçagem desde o 11D05 até ao piperack
C10.28	0,95	49	19,6	0,96	Ambiente	45	Desligar Caixas HC 10.28.1, HC 10.28.2 e HC 10.28.3, tendo atenção à alimentação da HC 10.28.4
Total	1,99			2,13			

4.4.2. Redução de temperaturas

Todos os circuitos têm uma temperatura de regulação que define quando a traçagem entra em funcionamento. Atualmente, as temperaturas definidas são as que ficaram reguladas aquando da instalação das traçagens. Desde então, houve alteração de produtos do processo, e as temperaturas reguladas nunca foram verificadas. Tendo sido analisados todos os circuitos, chegou-se à conclusão que alguns têm a temperatura de regulação mais alta que o necessário. Estes circuitos totalizam uma potência de 12,1 kW, em que dois não são contabilizados pois quando foram medidos estavam desligados, representando cerca de 28,4% da potência total das traçagens elétricas (valor calculado tendo em conta a potência total da Tabela 4.5).

⁶ - Valores obtidos com base nos dados técnicos da empresa instaladora das traçagens.

Nestas condições, sugere-se a redução das temperaturas de regulação. Nos circuitos identificados na Tabela 4.13.

Tabela 4.13 - Circuitos a reduzir a temperatura regulada.

Circuito	Ação	Circuito	Ação
C7.6	reduzir Temp. regulada de 35°C para 30°C	C7.8	reduzir Temp. regulada de 40°C para 35°C
C7.18	reduzir Temp. regulada de 35°C para 30°C	C7.28	reduzir Temp. regulada de 45°C para 30°C
C9.2	reduzir Temp. regulada de 35°C para 20°C	C9.101	reduzir Temp. regulada de 40°C para 20°C
C9.103	reduzir Temp. regulada de 90°C para 60°C	C10.2	reduzir Temp. regulada de 80°C para 50°C
C10.10	reduzir Temp. regulada de 50°C para 35°C	C10.12	reduzir Temp. regulada de 50°C para 30°C
C10.14	reduzir Temp. regulada de 40°C para 30°C	C10.18	reduzir Temp. regulada de 50°C para 30°C
C10.19	reduzir Temp. regulada de 45°C para 30°C	C10.20	reduzir Temp. regulada de 80°C para 40°C
C10.28	reduzir Temp. regulada de 45°C para 30°C	C10.104	reduzir Temp. regulada de 50°C para 20°C

Previsão de redução

Na Tabela 4.14 são indicadas as potências medidas de cada circuito, juntamente com a temperatura regulada e a temperatura a que está sujeito o sensor de regulação da traçagem. Desta forma, pode avaliar-se de que forma a redução da temperatura afeta o funcionamento dos circuitos.

Nem sempre foi possível registar a temperatura local, uma vez que não há quaisquer equipamentos para a sua monitorização pelo que, nestas situações, não foi possível calcular a redução esperada. Nos restantes casos, pode observar-se que, quando a temperatura do sensor depende de uma temperatura fixa, essa temperatura é normalmente a temperatura de operação, sendo essa a temperatura a registar durante o resto do ano, excluindo os períodos de paragem. Nestes períodos de paragem, as tubagens ficam sujeitas à temperatura ambiente, entrando a traçagem em funcionamento quando se atingir a temperatura mínima.

Assim, a redução esperada será de aproximadamente 5,02 kWh, o que, para o ano 2016 corresponderá a uma redução anual de 43975 kWh.

Tabela 4.14 - Previsão de redução dos circuitos a reduzir a temperatura.

Circuito	Potência medida [kW]	Temperatura Local [°C]	Previsão de Redução [kW]	Ação
C7.6	1,92	40	1,92	reduzir Temp. regulada de 35°C para 30°C
C7.8	0,06	Ambiente	0,06	reduzir Temp. regulada de 40°C para 35°C
C7.18	0,01	13	0	reduzir Temp. regulada de 35°C para 30°C
C7.28	0,00	-	-	reduzir Temp. regulada de 45°C para 30°C
C9.2	0,04	-	-	reduzir Temp. regulada de 35°C para 20°C
C9.101	0,14	-	-	reduzir Temp. regulada de 40°C para 20°C
C9.103	1,10	-	-	reduzir Temp. regulada de 90°C para 60°C
C10.2	0,23	-	-	reduzir Temp. regulada de 80°C para 50°C
C10.10	1,31	-	-	reduzir Temp. regulada de 50°C para 35°C
C10.12	1,16	40	1,16	reduzir Temp. regulada de 50°C para 30°C
C10.14	1,85	35	1,85	reduzir Temp. regulada de 40°C para 30°C
C10.18	2,57	Ambiente	0	reduzir Temp. regulada de 50°C para 30°C
C10.19	0,00	90	0	reduzir Temp. regulada de 45°C para 30°C
C10.20	0,74	-	-	reduzir Temp. regulada de 80°C para 40°C
C10.28	0,23 (atualizado pela redução da Tabela 4.12)	Ambiente	0	reduzir Temp. regulada de 45°C para 30°C
C10.104	0,03	47	0,03	reduzir Temp. regulada de 50°C para 20°C
Total	11,355		5,02	

Investimento

À semelhança da medida proposta anteriormente, o investimento exigido para a implementação desta medida será a mão de obra interna, que tem que proceder à abertura das caixas de regulação, situadas no processo, e diminuir a temperatura para os valores desejados.

4.4.3. Colocação de termómetros

Atualmente, de uma forma geral, não é possível saber a temperatura a que se encontra sujeito o sensor de temperatura das traçagens, sendo, na maior parte dos casos, feita uma estimativa da temperatura no sensor com base na temperatura de tanques, ou através de caudalímetros instalados nas linhas, estando sujeitos às perdas durante o percurso pelas tubagens, que chega a ser de centenas de metros.

Tendo em conta estes fatores, sugere-se a colocação de termómetros junto aos sensores, de forma a verificar o correto funcionamento da traçagem, dentro dos valores de temperatura pretendidos, detetando avarias nos termóstatos.

4.5. Implementação das oportunidades de melhoria

Depois de avaliadas as medidas de racionalização de energia propostas, foram implementadas as duas primeiras medidas: corte dos circuitos sem utilidade e redução das temperaturas das traçagens.

A implementação das medidas foi supervisionada pelo Engenheiro responsável pela produção, de modo a assegurar os valores mínimos das temperaturas necessários aos diversos produtos e a garantir que o corte dos circuitos não comprometia o correto funcionamento da fábrica.

Com o objetivo de verificar a redução imediata dos consumos, foram efetuadas medições antes e depois da implementação das medidas.

De modo a tornar possível a comparação das condições atmosféricas a que as traçagens estiveram sujeitas, foram registados os valores de temperaturas e velocidade do vento durante as medições e que são apresentadas na Tabela 4.15. Na medição semanal não foi possível retirar a velocidade do vento nem a temperatura média, uma vez que eram apenas indicados os valores máximos e mínimos de cada dia.

Como se pode observar a partir dos dados da Tabela 4.15, os valores não variam muito, podendo concluir-se que as medições foram efetuadas em condições climatéricas semelhantes.

Primeiro, foi efetuada uma medição de apenas 24 horas, dadas as limitações de tempo impostas pelo Estágio, antes de qualquer implementação das medidas de racionalização, obtendo-se os valores da Tabela 4.16.

Tabela 4.15 – Registos de temperatura e velocidade de vento das medições efetuadas.

	Temperatura mínima [°C]	Temperatura máxima [°C]	Temperatura média [°C]	Velocidade média do vento [km/h]
Antes da implementação 10-11/07/2017	15	23	19	14
Depois da implementação 17-18/07/2017	17	26	20	7
Depois da implementação 18-25/07/2017	15	26	-	-

Tabela 4.16 – Valores médios registados durante 24h antes de qualquer alteração.

	Potência média [kW]	Energia total [kWh]
Q. Traçagens	38,926	934,164

Procedeu-se, de seguida, às alterações pretendidas, desligando-se os circuitos anteriormente referidos, do quadro e do processo, e reduzidas as temperaturas de manutenção dos circuitos. Foi feita uma nova medição de 24 horas, obtendo-se os dados da Tabela 4.17.

Tabela 4.17 - Valores médios registados durante 24h depois das alterações efetuadas.

	Potência média [kW]	Energia total [kWh]
Q. Traçagens	27,392	660,277

Comparando os resultados obtidos antes e após a implementação das medidas, verifica-se uma redução de, aproximadamente, 11,5 kW na potência total do quadro, e uma redução diária de consumo de 273,9 kWh.

Considerando-se que um período de 24 horas correspondia a um tempo de medição reduzido, procedeu-se a uma medição final de uma semana, de modo a validar os resultados obtidos

anteriormente e também para se poderem comparar com os valores semanais obtidos em fevereiro. Os resultados de uma medição contínua semanal, depois de terem sido efetuadas as alterações pretendidas, são os apresentados na Tabela 4.18.

Tabela 4.18 - Valores médios registados durante 7 dias depois das alterações efetuadas.

	Potência média [kW]	Energia média diária [kWh]	Energia total [kWh]
Q. Traçagens	28,482	683,567	4784,966

Ao comparar os resultados obtidos da Tabela 4.18 com os da Tabela 4.8 e da Tabela 4.16, pode verificar-se que se reduziu a potência do quadro em cerca de 10,44 kW, resultando numa redução de energia semanal de 1753,7 kWh, correspondendo a uma redução anual de 91190 kWh. Uma vez que as condições climatéricas de verão são mais favoráveis do que as de inverno, esta previsão será otimista. Contudo, como foi referido anteriormente, a maioria das traçagens estaria ligada durante todo o ano, pelo que, apesar de otimista esta previsão poderá estar próxima da realidade.

4.6. Caso de estudo

No presente caso de estudo é proposta a otimização das condições de operação da traçagem de uma linha de biodiesel, tomada como representativa de toda a instalação. Assim, neste estudo pretende-se encontrar o modo ótimo de funcionamento e controlo da traçagem, por forma a minimizar o consumo de energia.

Na Figura 4.17 está representado o esquema do caso de estudo, que visa o transporte de biodiesel do tanque A para o tanque B, com o auxílio de uma bomba, para que se proceda à remoção de resíduos resultantes da transesterificação e que não foram removidos pelo processo de decantação anterior.

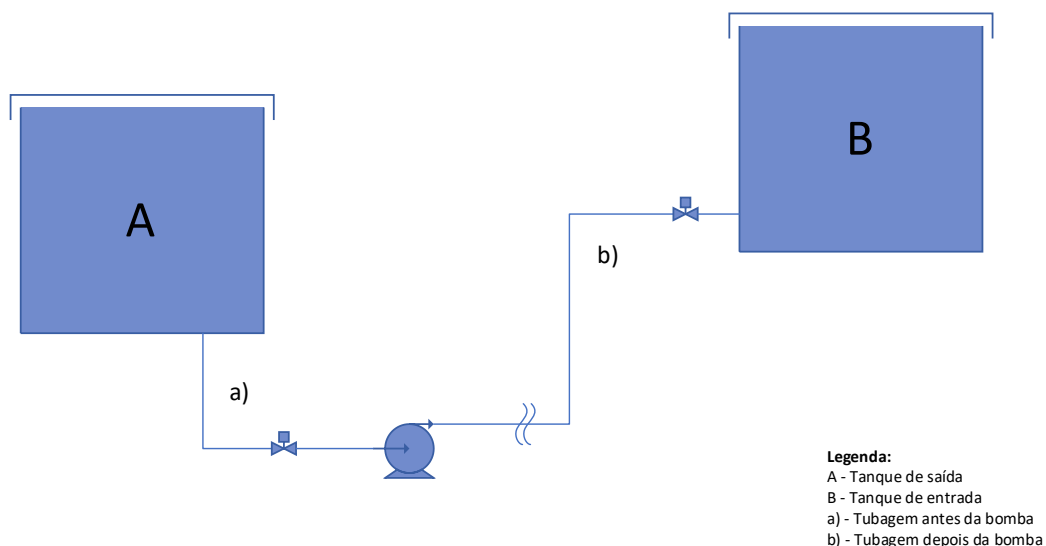


Figura 4.17 - Esquema do caso de estudo.

Na Tabela 4.19 apresentam-se alguns dados característicos da linha em estudo que servem de base à resolução do problema apresentado.

Tabela 4.19 - Dados característicos da linha de biodiesel em estudo.

	Tubagem antes da bomba	Tubagem depois da bomba
Comprimento [m]	8	28
Diâmetro externo [mm]	114,3	60,3
Espessura [mm]	3	3
Isolamento [mm]	60	40
Acidentes da instalação	3 válvulas	5 válvulas
	9 cotovelos	12 cotovelos
Caudal mássico [kg/h]	12800	

Sabe-se ainda que o biodiesel do tanque A se encontra aproximadamente a 45°C, que a tubagem é de aço e que o isolamento em lã de rocha.

Numa primeira fase, pretendeu-se estudar o efeito da temperatura sobre a viscosidade do fluído e, consequentemente, no consumo de energia de bombagem, por forma a verificar se este seria

um parâmetro relevante na otimização da temperatura de operação das linhas. Para calcular a potência necessária ao bombeamento do biodiesel na linha em estudo, são necessários alguns dados adicionais apresentados de seguida:

De acordo com a norma europeia EN 14214, a viscosidade cinemática do biodiesel a 40 °C está compreendida entre $3,5 \times 10^{-6}$ e $5,0 \times 10^{-6}$ m²/s [19], dependendo das características do óleo que o originou. Para efeito do presente estudo assume-se que a viscosidade do biodiesel toma, às temperaturas de 20 °C, 40 °C e 70 °C, os valores propostos por [33] para biodiesel com cadeia de 15 carbonos de $5,970 \times 10^{-6}$, $3,819 \times 10^{-6}$ e $2,155 \times 10^{-6}$ m²/s, respetivamente.

Admitiu-se que o valor rugosidade da tubagem de aço é de 0,046 mm [34], e que, de acordo com a Prio Biocombustíveis, o valor da massa volúmica (ρ) do biodiesel é igual a 883 kg/m³.

Com base nestes dados pode, então, calcular-se o valor de potência de bombagem do biodiesel par cada uma das temperaturas.

Cálculo da potência necessária para a bombagem

O cálculo da potência de bombagem necessária para vencer as perdas de carga na tubagem por atrito é efetuado com base na Equação 4.1.

$$P_{bomba} = \frac{Q_v \times \Delta P_f}{\eta} \quad (4.1)$$

Em que Q_v representa o caudal volumétrico, ΔP_f , a perda de pressão na tubagem por atrito e η o rendimento da bomba centrífuga usada na bombagem do fluído.

O caudal volumétrico pode ser determinado a partir do caudal mássico, definido pelas necessidades da instalação da Prio:

$$Q_v = \frac{Q_m}{\rho} = \frac{12800}{883} = 14,5 \text{ m}^3/\text{h} \quad (4.2)$$

A perda de carga ao longo da tubagem, é calculada através da Equação 4.3.

$$\Delta P_f = 4 \times \varphi \times \frac{L}{de - 2e} \times \rho \times u^2 \quad (4.3)$$

Em que ϕ representa o coeficiente de atrito, L , o comprimento da linha, ρ , a massa volúmica do biodiesel e u a velocidade média de escoamento do biodiesel.

Dado que a instalação é constituída por duas tubagens com diâmetros distintos, os cálculos serão efetuados para cada uma das partes da linha de abastecimento de biodiesel. Desta forma começa-se por calcular a velocidade média de escoamento em cada uma das partes do circuito hidráulico (u_1 - tubagem com diâmetro externo de 114,3mm e u_2 - tubagem com diâmetro externo de 60,3mm).

$$u_1 = \frac{Q_v}{Af_1} = \frac{Q_v}{\frac{\pi}{4}(de_1 - 2e)^2} = \frac{\frac{14,5}{3600}}{\frac{\pi}{4}(108,3 \times 10^{-3})^2} = 0,437 \text{ m/s} \quad (4.4)$$

$$u_2 = \frac{Q_v}{Af_2} = \frac{Q_v}{\frac{\pi}{4}(de_2 - 2e)^2} = \frac{\frac{14,5}{3600}}{\frac{\pi}{4}(54,3 \times 10^{-3})^2} = 1,739 \text{ m/s} \quad (4.5)$$

Determinando a rugosidade relativa, nas Equações 4.6 e 4.7, e o valor de Reynolds, nas Equações 4.8 e 4.9, é possível obter os valores do coeficiente de atrito, para as duas partes da demonstração, através do gráfico de atrito em tubos apresentado no Anexo X [34].

$$\varepsilon/D_1 = \frac{\varepsilon_{aço}}{de_1 - 2e} = \frac{0,046}{108,3} = 0,000425 \quad (4.6)$$

$$\varepsilon/D_2 = \frac{\varepsilon_{aço}}{de_2 - 2e} = \frac{0,046}{54,3} = 0,000847 \quad (4.7)$$

e

$$Re_1 = \frac{(de_1 - 2e) \times u_1 \times \rho}{\mu} = \frac{108,3 \times 10^{-3} \times 0,437 \times 883}{5,97 \times 10^{-6}} = 7,0 \times 10^6 \quad (4.8)$$

$$Re_2 = \frac{(de_2 - 2e) \times u_2 \times \rho}{\mu} = \frac{54,3 \times 10^{-3} \times 1,739 \times 883}{5,97 \times 10^{-6}} = 1,40 \times 10^7 \quad (4.9)$$

Pela análise do gráfico de atrito em tubos apresentado no Anexo X, dado que os valores de Reynolds são sempre superiores a 6×10^5 para a tubagem com diâmetro externo de 114,3mm e superiores a 2×10^5 para a tubagem com diâmetro externo de 60,3mm, constata-se que o sistema

se encontra em ambos os casos em regime turbulento e que, o valor de ϕ é independente do valor de Reynolds, podendo-se considerar os valores ϕ constantes e iguais a:

$$\phi_1 = 0,0019;$$

$$\phi_2 = 0,0022;$$

De referir que mesmo que se tivesse considerado uma linha de óleo mais viscosa (por exemplo óleo de soja, com viscosidade cinemática de $44,16 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$, a 20°C [35], nas condições de operação desta linha o regime de escoamento manter-se-ia turbulento em ambos os tramos da tubagem, pelo que a potência de bombagem se manteria independente da viscosidade do fluído e, portanto, independente da temperatura.

De forma a calcular a perda de pressão por atrito da tubagem, é necessário determinar as perdas associadas aos acidentes da instalação, recorrendo ao comprimento equivalente de cada acidente. Assumindo que a perda de carga em cotovelo corresponde a um comprimento de 40 diâmetros internos e [34] e a perda de carga numa válvula totalmente aberta corresponde a 7 diâmetros internos [34] é possível calcular o comprimento equivalente da instalação em cada uma das zonas:

$$L_{eq1} = 8 + (3 \times 7 + 9 \times 40) \times 108,3 \times 10^{-3} = 49,3 \text{ m} \quad (4.10)$$

$$L_{eq2} = 28 + (5 \times 7 + 12 \times 40) \times 54,3 \times 10^{-3} = 56,0 \text{ m} \quad (4.11)$$

Substituindo todos os dados é possível calcular a perda de pressão nas duas tubagens, recorrendo à Equação 4.2:

$$\Delta P_{f1} = 4 \times 0,0019 \times \frac{49,3}{0,1083} \times 883 \times 0,437^2 = 583,4 \text{ N/m}^2 \quad (4.12)$$

$$\Delta P_{f2} = 4 \times 0,0022 \times \frac{56,0}{0,0543} \times 883 \times 1,739^2 = 24234,3 \text{ N/m}^2 \quad (4.13)$$

Assumindo uma eficiência da bomba centrífuga de 50%, pode então calcular-se a potência de bombagem necessária através da Equação 4.1:

$$P_{bombagem} = \frac{\frac{14,5}{3600} \times (583,4 + 24234,3)}{0,5} = 199,9 \text{ W} \quad (4.14)$$

Assim, a potência necessária para a bombagem para vencer as perdas por atrito no transporte do biodiesel do tanque A para o tanque B é de 199,9 W.

Conforme se referiu anteriormente, independentemente da temperatura que se considere na gama de 20 a 70 °C e de ser óleo ou biodiesel, o regime de escoamento para esta linha processual será sempre turbulento, na gama de Reynolds para o qual o fator de atrito é independente do valor daquele número adimensional. Assim, as perdas de pressão na tubagem devido ao atrito serão independentes da viscosidade do fluido e, consequentemente, da temperatura de operação. Desta forma não se mostra necessário calcular a potência de bombagem noutras temperaturas e pode concluir-se que a alteração da temperatura de operação na linha não implicará alterações ao nível dos custos de bombagem, pelo que este não é um fator a considerar na otimização da traçagem.

Uma vez que a variação da temperatura do fluido nesta linha não altera os custos de bombagem, passou-se à otimização da traçagem baseada unicamente na temperatura mínima admissível para o fluido, por questões de operacionalidade, e ao cálculo das perdas de calor na linha e da potência de traçagem necessária para compensar essas perdas de calor.

Cálculo da potência de traçagem necessária

Pretende-se estudar as perdas de calor na tubagem e a necessidade de existência de uma traçagem elétrica que compense essas perdas, de modo a que a temperatura do fluido se mantenha nos valores mínimos da temperatura de manutenção definidos pela Prio Biocombustíveis para assegurar o bom funcionamento da instalação.

Para efetuar o cálculo da potência de traçagem são necessários alguns dados físicos do fluido, bem como a definição das condições de operação, que se encontram descritos na Tabela 4.20.

Por informação da Prio Biocombustíveis, considerou-se a temperatura de operação de 45°C, por ser esta a temperatura a que o biodiesel é armazenado no tanque A da linha em estudo e que a temperatura mínima a que poderia ser arrefecido o biodiesel seria de 30 °C, designada como temperatura de manutenção. Atendendo às temperaturas típicas de Aveiro, assumiu-se uma

temperatura ambiente desfavorável de 5°C, por forma a maximizar as perdas de calor nas tubagens.

Tabela 4.20- Valores utilizados nos cálculos da potência de tração necessária.

Capacidade calorífica específica a pressão constante do biodiesel	2049 J/(kg.K) [36]
Condutividade térmica do isolamento, k (lã de rocha)	0,065 W/(m.K) [37]
Massa volúmica biodiesel, ρ (45°C)	883 kg/m ³
Temperatura do tanque	45 °C
Temperatura ambiente	5 °C
Temperatura de manutenção	30°C

Por outro lado, como existem paragens da operação ao longo do ano, é necessário avaliar as perdas de calor numa situação em que o fluido não está em movimento na linha em estudo, por forma a determinar em que instante e com que potência deverá ser ligada a tração para assegurar a temperatura de manutenção em toda a instalação.

Uma vez que toda a instalação se encontra isolada com enchimento de lã de rocha com 6 ou 4 cm de espessura, a resistência à transferência de calor no isolamento é muito elevada, pelo que se podem desprezar as resistências à transferência de calor do fluido para a tubagem de aço por convecção, na tubagem de aço por condução e da superfície exterior do isolamento para o ar ambiente por convecção, calculando-se, assim, por excesso as perdas de calor.

Admitindo que não há aquecimento pela tração no tubo, a temperatura do fluido ao longo do tubo vai diminuindo em resultado da perda de calor pelas superfícies laterais do tubo. Num elemento infinitesimal de comprimento do tubo, dx , a perda de calor pode ser dada pela equação 3.11, vindo:

$$dQ = 2\pi k(dx) \frac{T_1 - T_2}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)} [W] \quad (4.15)$$

E esta perda de calor traduz-se num abaixamento de temperatura no fluido dada por:

$$dQ = -Q_m c_p dT [W] \quad (4.16)$$

Em que Q_m é o caudal mássico de biodiesel na linha em estudo, C_p a capacidade calorífica específica a pressão constante do biodiesel e dT a variação infinitesimal de temperatura entre a distância x e $x+dx$ da tubagem.

Para determinar o perfil de temperatura ao longo da tubagem podem igualar-se as Equações 4.15 e 4.16, tomando como T_1 a temperatura do biodiesel no interior do tubo na distância x , T , e como T_2 a temperatura ambiente (T_{ambiente} , constante). Procedendo-se à integração entre o início da tubagem à saída do tanque e a distância x a que corresponde a temperatura do tanque, T_{tanque} , e a temperatura do fluido à distância x , T , obtém-se a Equação 4.20:

$$-Q_m C_p dT = 2\pi k dx \frac{T - T_{\text{amb}}}{\ln(r_2/r_1)} \Leftrightarrow \quad (4.17)$$

$$\Leftrightarrow \frac{2\pi k}{\ln(r_2/r_1)} \int_0^L dx = -Q_m C_p \int_{T_{\text{tanque}}}^T \frac{dT}{T - T_{\text{amb}}} \quad (4.18)$$

$$\Leftrightarrow \frac{2\pi k}{\ln(r_2/r_1)} x = -Q_m C_p \ln \frac{T - T_{\text{amb}}}{T_{\text{tanque}} - T_{\text{amb}}} \quad (4.19)$$

$$\Leftrightarrow T = T_{\text{amb}} + (T_{\text{tanque}} - T_{\text{amb}}) \times e^{\left(\frac{-2\pi k L}{\ln(r_2/r_1)} \frac{1}{Q_m C_p} \right)} \quad (4.20)$$

Esta equação permite determinar a temperatura do fluido ao longo da tubagem e, assim, estudar o efeito do arrefecimento do fluido em resultado das perdas de calor na tubagem. Deste modo pode determinar-se o valor de energia a fornecer ao fluido pela traçagem por forma a assegurar a temperatura de manutenção do fluido.

Como a tubagem da instalação em estudo varia de diâmetro, o cálculo das perdas de calor tem de ser dividido para as duas secções da instalação.

Na Figura 4.18 apresenta-se a temperatura do fluido ao longo da instalação em estudo, calculada com recurso à equação 4.20.

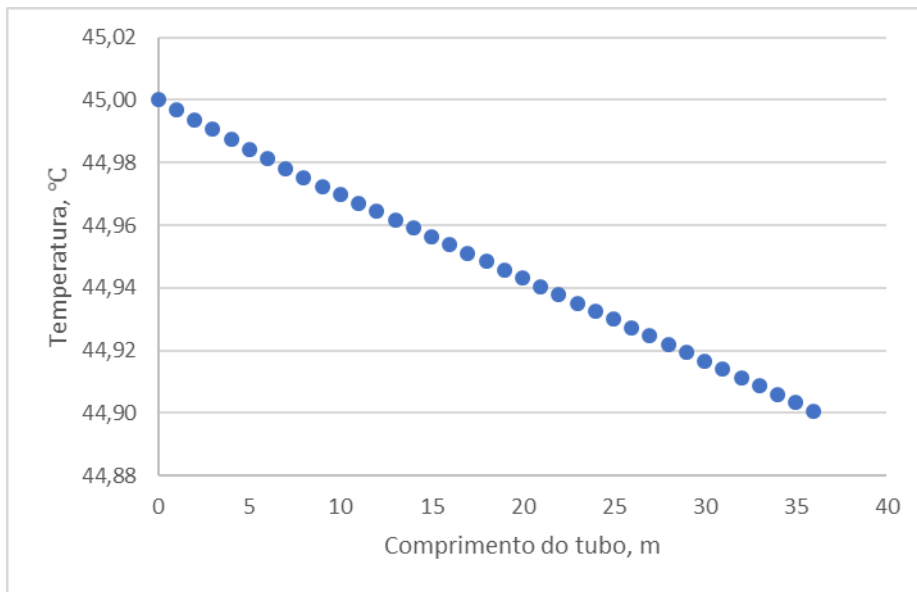


Figura 4.18 - Variação da temperatura ao longo do tubo na instalação em estudo.

Através da análise da Figura 4.18 é possível verificar que a temperatura sofre uma variação de apenas uma décima de grau, o que revela que durante o período de operação não é necessária a utilização de traçagem elétrica, uma vez que a temperatura no final da instalação é consideravelmente superior ao valor definido como temperatura de manutenção, de 30 °C.

Nesta situação, a perda de calor na tubagem pode ser determinada pela Equação 4.20.

$$Q = Q_m C_p (T_{\text{Tanque}} - T_{\text{final da instalação}}) \quad (4.21)$$

$$Q = 12800/3600 \times 2049 \times (45 - 44,89) = 818,2 \text{ W} \quad (4.22)$$

Assim, conclui-se que em funcionamento não há necessidade de ligar as traçagens elétricas, uma vez que o isolamento existente na instalação garante que a temperatura a que o fluido está no tanque A sofre uma redução marginal ao longo da tubagem, ficando sempre acima da temperatura de manutenção de 30 °C, pelo que o biodiesel chegará ao tanque B a uma temperatura de 44,89 °C.

De seguida são efetuados os cálculos para determinar a redução da temperatura na instalação, quando se procede à paragem do processo, de forma a definir em que altura deverá ser ligada a traçagem para que a temperatura do fluido não atinja valores abaixo da temperatura de manutenção.

Determinou-se a redução de temperatura em função do tempo (determinou-se para intervalos de 30 em 30 minutos), para o comprimento total da tubagem que se admite estar à mesma temperatura, contendo a massa de fluido correspondente a todo o volume disponível na tubagem. Desprezando as perdas de calor nos extremos da tubagem, as perdas de calor pelo isolamento em toda a tubagem podem ser determinadas a partir da equação 3.11.

$$Q = 2\pi kL \frac{T - T_{amb}}{\ln(r_2/r_1)} \quad (4.23)$$

Esta perda de calor corresponde ao abaixamento da temperatura ao longo do tempo de toda a massa, m , de biodiesel contido nas tubagens que é dada por:

$$Q = -mCp \frac{dT}{dt} \quad (4.24)$$

Igualando as duas expressões anteriores e integrando entre a temperatura inicial que por aproximação se admite igual à temperatura do tanque, T_{tanque} , em toda a tubagem e a temperatura no instante t , T , obtém-se a equação 4.28:

$$-mCp \frac{dT}{dt} = 2\pi kL \frac{T - T_{amb}}{\ln(r_2/r_1)} \quad (4.25)$$

$$\Leftrightarrow \int_{T_{tanque}}^T \frac{dT}{T - T_{amb}} = -\frac{2\pi kL}{mCp \ln(r_2/r_1)} \int_0^t dt \Leftrightarrow \quad (4.26)$$

$$\Leftrightarrow \ln \frac{T - T_{amb}}{T_{tanque} - T_{amb}} = -\frac{2\pi kLt}{\pi r_1^2 L \rho_B Cp \ln(r_2/r_1)} \Leftrightarrow \quad (4.27)$$

$$\Leftrightarrow T = T_{amb} + (T_{tanque} - T_{amb}) \times e^{\left(\frac{-2kt}{r_1^2 \rho_B Cp \ln(r_2/r_1)}\right)} \quad (4.28)$$

A expressão obtida permite estimar a temperatura na tubagem ao longo do tempo, apresentando-se na Figura 4.19 os resultados obtidos.



Figura 4.19 - Variação da temperatura do biodiesel na tubagem ao longo do tempo, quando o processo está parado.

Durante as primeiras 5 horas verifica-se uma descida acentuada da temperatura, sendo que, durante os primeiros 45 minutos a temperatura baixa cerca de 10 °C. Como a temperatura de manutenção é de 30°C é necessário assegurar que as traçagens são ligadas 1 hora e meia após o encerramento da operação da linha, quando a temperatura do fluído atinge aquele valor. Nesse instante, a perda de calor para o meio ambiente pode ser determinada pela equação 4.23, fazendo $T = 30\text{ °C}$, que corresponde ao fluxo de calor que é necessário fornecer à instalação, bem como à potência que a traçagem terá de possuir para assegurar a temperatura de manutenção do biodiesel.

A potência da traçagem necessária para manter a tubagem a 30°C quando o processo está parado é de 451,8 W. Pode-se, pois, concluir deste estudo de caso que nesta linha se deverá assegurar que a traçagem possui uma potência de 451,8W e deverá ser ligada 90 minutos após o desligar das bombas de trasfega do biodiesel.

Considerando que atualmente as traçagens desta linha têm uma potência de 1,162 W e que estão sempre ligadas, o consumo anual de energia é de aproximadamente 10179 kWh. Admitindo que a linha poderá estar desligada num total de 4 semanas anuais, a necessidade da traçagem estar ligada seria apenas durante esse período, pelo que o consumo desta linha poderia ser

reduzido para cerca de 865 kWh, o que corresponde a uma poupança de aproximadamente de 91,5%. Se se admitir uma taxa de redução semelhante em toda a instalação e sabendo que o consumo anual de energia nas traçagens é de 341027 kWh (38,93 kW todo o ano), o potencial de redução de consumos na instalação, seguindo os pressupostos do presente estudo, é de 324316 kWh/ano, o que corresponde a um valor de 17699.6 €⁷.

⁷ Valor calculado com base nas faturas elétricas da Prio Biocombustíveis e na média ponderada do preço da eletricidade de 0,054575 €/kWh

5. Sistemas de Gestão de Energia

Como referido no Capítulo 1, a eficiência energética, particularmente nas indústrias que apresentam um consumo intensivo de energia, pode ser encarada como uma prática para a redução de custos e, portanto, um meio para aumentar os lucros em mercados competitivos. Ações para melhorar a eficiência energética no setor industrial continuam a ser uma das opções mais rentáveis para a redução dos gases de efeito de estufa e para melhorar a segurança energética e a produtividade [7].

No entanto, a existência de algumas barreiras impede que o potencial do incremento da eficiência energética industrial seja realizado. A gestão de energia, quando corretamente implementada por empresas industriais pode superar essas barreiras, uma vez que permitirá reduzir os custos e desperdícios de energia e minimizar os impactos ambientais [38].

5.1. Gestão de Energia

A designação gestão de energia surge na literatura com diferentes definições. [39] refere que, para alguns autores aí citados, a gestão de energia está centrada na implementação de tecnologias energeticamente eficientes, na remoção de equipamentos ineficientes e na manutenção de tecnologia, enquanto que outros afirmam que a gestão de energia está ligada à otimização do uso de energia. Outras definições apresentadas em [39] são: a gestão de energia inclui o recurso a métodos organizacionais e a tecnologia para controlar o uso de energia; a gestão de energia é um conjunto de medidas para alcançar o uso mínimo de energia, mantendo os níveis de conforto e de produção; a gestão de energia inclui dirigir, monitorizar e melhorar a eficiência energética.

De acordo com [40], a gestão de energia é uma das abordagens mais eficazes para melhorar a eficiência energética nas indústrias, porque permite dotar as empresas de práticas e procedimentos para continuamente fazer melhorias e captar novas oportunidades. A gestão de energia envolve uma sistemática investigação, análise e planeamento do uso de energia, e permite às empresas maximizar a economia de energia e melhorar continuamente o desempenho energético através de mudanças organizacionais e tecnológicas [7].

A gestão de energia começou a ser considerada uma das principais funções da gestão industrial na década de 1970 como resultado do aumento do preço da energia e da perceção da exaustão

dos recursos energéticos mundiais [38]. Historicamente, as preocupações com o consumo de energia no setor industrial tinham baixa prioridade na gestão das empresas, dado que os custos de energia eram apenas uma pequena parte dos custos totais de produção, uma vez que os preços da energia eram baixos e relativamente estáveis [40]. Portanto, os custos de energia foram na maioria dos casos, apenas tratados como despesas gerais e não como uma categoria de custo pelos quais os gestores eram diretamente responsáveis.

Esta situação alterou-se com o aumento considerável dos preços da energia e com o aumento das preocupações ambientais. Atualmente, o papel da gestão de energia ampliou-se nas indústrias com o envolvimento da gestão de topo das empresas no planeamento de vários projetos de gestão de energia. Os gestores das empresas industriais perceberam que a gestão de energia pode ser uma alavanca eficaz para melhorar os sistemas de produção e operação da empresa, aumentar a eficiência energética e, conseqüentemente, reduzir os consumos de energia e respetivos custos [40].

Os relatórios anuais de muitas empresas industriais devem mencionar os detalhes das atividades de conservação de energia e os sucessos alcançados com os vários projetos de conservação de energia. Para serem eficazes, os programas de gestão de energia devem incluir quatro áreas principais: (1) Análise dos dados históricos; (2) Auditoria energética; (3) Análise e propostas de investimentos baseadas em estudos de viabilidade; (4) Informação e preparação dos colaboradores [38].

5.2. Sistemas de Gestão de Energia

A fim de implementar a gestão de energia dentro de uma empresa, um sistema formal de gestão de energia é uma ferramenta de apoio fundamental. Um Sistema de Gestão de Energia (SGE) (Energy Management System -EnMS) - é um conceito geral e relativamente abrangente sobre uma grande variedade de sistemas que dão apoio à gestão da energia [7].

Em [41] um Sistema de Gestão de Energia “estabelece um conjunto de elementos inter-relacionados ou interatuantes para estabelecer uma política e objetivos energéticos, bem como estabelecer os processos e procedimentos necessários para a concretização desses objetivos”. É uma ferramenta de gestão, que visa a criação de métodos para uma melhor gestão de energia.

A adoção de um SGE numa empresa pode ter um impacto significativo, se bem implementado.

Para uma correta implementação de SGE há vários aspetos a ter em consideração [42]:

- 1) Definição de pontos estratégicos para obter informação dos consumos energéticos da empresa, tendo em conta a necessidade, a forma, a localização, quando e quanto se consome de energia;
- 2) Contabilização e monitorização da evolução dos consumos de energia;
- 3) Disponibilização dos dados necessários a ter em conta para a tomada de decisão sobre as ações a implementar para a melhoria do desempenho energético;
- 4) A implementação das ações definidas;
- 5) Controlo dos resultados obtidos das ações implementadas e investimentos realizados.

Tendo estas linhas como diretrizes, cabe à empresa definir os indicadores que julga mais importantes e pelos quais se quer reger, e que serão considerados na identificação, implementação e controlo das medidas, para chegar ao objetivo de redução que pretende.

A implementação de um SGE pode ser feita de acordo com diferentes normas de referência, como por exemplo a norma EN 16001. Contudo, as normas ISO (Organização Internacional de Normalização) são as mais populares e as mais comumente adotadas, como referência a seguir, pela generalidade das empresas. Para a implementação de um SGE a norma ISO de referência é norma ISO 50001:2011, uma norma voluntária desenvolvida pela Organização Internacional de Normalização como a Norma Internacional para gestão de energia e está disponível desde junho de 2011. A versão portuguesa da norma é a NP EN ISO 50001:2012 [41].

É comum que, uma vez implementado um SGE as organizações decidam avançar para a certificação, uma vez que é uma forma de evidenciarem que possuem implementado um sistema de gestão de energia em conformidade com aquele referencial. Na verdade, a implementação de um SGE de acordo com a norma NP EN ISO 50001:2012, poderá ser um caminho a seguir, ainda que, não se queira obter certificação.

A implementação de um Sistema de Gestão de Energia de acordo com a Norma ISO 50001 apresenta diversas vantagens [42]:

- 1) O controlo sobre os dados energéticos; avaliação dos processos produtivos e organizacionais, para lá de instalações e equipamentos;

2) A recolha, controlo e monitorização de dados energéticos que permitem a implementação de medidas necessárias ao melhoramento do desempenho energético e a contínua adoção de medidas corretivas, sempre que necessário;

3) A otimização do sistema de gestão de energia da organização numa perspetiva de melhoria contínua com o envolvimento de toda a organização no processo, levando assim a resultados mais duradouros.

Contudo, apresenta, também algumas desvantagens: o planeamento de um SGE torna-se um processo complexo e demorado, sendo necessário um grande rigor no controlo de custos resultantes da implementação de um SGE e que exige particular atenção por parte da gestão de topo [42].

Mesmo apresentando as desvantagens descritas, muitos poderão ser os benefícios resultantes da implementação de um SGE numa empresa industrial, nomeadamente: redução da fatura energética; aumento da produtividade; aumento da competitividade nos mercados internos e externos; conhecimento aprofundado das instalações e do custo energético dos processos; contribuição para uma melhoria na imputação dos custos operacionais e consequente planeamento de custos; contribuição para a redução dos impactos negativos decorrentes do consumo de energia, incluindo a redução de gases com efeitos de estufa; reduzir da exposição das entidades a fatores externos [42].

5.3. Norma NP EN ISSO 500001:2012

As normas ISO, criadas pela Organização Internacional de Normalização, têm o objetivo de "facilitar a coordenação internacional e unificação dos padrões industriais" [43].

Não impondo metas de melhoria de desempenho energético maiores do que as metas legais impostas pelo país, a norma NP EN ISO 50001:2012 tem como objetivo auxiliar as organizações a estabelecer métodos necessários à melhoria do desempenho energético, a nível de eficiência energética e de consumos, conduzindo à redução de emissões de GEE e de outros impactes ambientais relacionados [41].

A Norma aplica-se a qualquer organização, independentemente da sua dimensão, condição geográfica, cultural e social. E especifica os requisitos necessários à implementação de um SGE, sobre os quais a organização pode criar e colocar em prática uma política energética, e estabelecer objetivos, metas e planos de ação de acordo com a exigências legais e dados

relacionados com o uso considerável de energia. A Norma tem em conta o campo de atuação de cada organização, adaptando-se às necessidades específicas de cada uma [41].

A metodologia em que se baseia a Norma é conhecida como “Plan-Do-Check-Act” (PDCA) exemplificada na Figura 5.1, e podendo ser descrita da seguinte forma [41]:

- *Plan* (Planear)- consiste na realização de uma avaliação energética de forma a estabelecer os indicadores de desempenho energético sobre os quais se vão definir objetivos, metas e planos de ação necessários para a obtenção de resultados de melhoria energética de acordo com a política energética da organização;
- *Do* (Executar)- concretização dos planos de ação realizados no ponto anterior;
- *Check* (Verificar)- monitorização das medidas implementadas, e das operações inerentes ao desempenho energético de acordo com a política energética da organização;
- *Act* (Atuar)- delinear ações com vista à melhoria contínua de desempenho do SGE.



Figura 5.1- Modelo esquemático para um Sistema de Gestão de Energia para a Norma[42].

Um SGE implementado de acordo com a Norma ISO 50001 pode ser dividido em dois ramos de atuação principais: Aspectos de Gestão, composto pelos processos de aplicação por parte da gestão de topo e Aspectos Técnicos, composto pelos processos técnicos e de implementação prática [44]. Na Figura 5.2 ilustra-se a correspondência Aspectos de Gestão e Técnicos de um SGE com os capítulos da Norma ISO 50001, para cada um dos passos da metodologia PDCA.



Figura 5.2 - Aspectos de Gestão e Técnicos de um SGE e correspondência com a Norma ISO 50001 [44].

5.4. Integração da Norma ISO 50001 com o SGCIE

O cumprimento do Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia (SGCIE), referido no Capítulo 1, por parte de uma organização por ele abrangido, como é o caso da Prio Biocombustíveis, nomeadamente no que respeita à realização de Auditorias Energéticas periódicas, elaboração e submissão de um PREn (Plano de Racionalização de Energia) executado através do ARCE (Acordo de Racionalização dos Consumos de Energia), facilita e dá suporte à implementação de um Sistema de Gestão de Energia segundo a Norma ISO 50001.

Na Tabela 5.1 ilustra-se de que modo pode ser feita a integração da Norma ISO 50001 com o SGCIE [44].

- Planear - a Auditoria Energética realizado no âmbito do SGCIE pode ser integrada no SGE. Os Indicadores definidos no âmbito do SGCIE (CE, IE e IC podem ser utilizados no SGE ou funcionar como base para definir outros Indicadores de Desempenho Energético;

- Executar - é possível integrar no SGE o Plano de Racionalização de Energia elaborado no âmbito do SGCIE;
- Verificar - os Relatórios de Progresso elaborados ao longo da execução do ARCE SGCIE podem ser integrados no SGE, uma vez que existe uma relação direta com a Monitorização e Medição exigidas pela Norma;
- Atuar - o Relatório Final do SGCIE pode apoiar a Revisão pela Gestão da Norma ISO 50001.

Tabela 5.1 - Integração da Norma ISO 50001 com o SGCIE.

ISO 50001	SGCIE
PLANEAR (PLAN)	
Avaliação energética (4.4.3) Consumo energético de referência (4.4.4) Indicadores de Desempenho energético (4.4.5)	Auditoria energética (art.º6º) Intensidade energética e carbónica, Consumo específico de energia (art.º7º)
EXECUTAR (DO)	
Plano de ação para a gestão de energia (4.4.6)	Plano de racionalização (art.º7º)
VERIFICAR (CHECK)	
Monitorização e medição (4.6.1)	Relatório de progresso (art.º9º)
ATUAR (ACT)	
Revisão pela gestão (4.7) Saída da revisão (4.7.3)	Relatório final (art.º9º)

6. Conclusões e oportunidades futuras

O presente Relatório descreve as diferentes atividades desenvolvidas ao longo do Estágio realizado na Prio Biocombustíveis, no âmbito do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica - Especialização em Automação e Comunicações em Sistemas de Energia, do Instituto Superior de Engenharia de Coimbra.

A Prio Biocombustíveis S.A. é uma empresa do Grupo Prio Energy e é a empresa responsável pela produção e comercialização de biodiesel e dos subprodutos derivados da sua produção. Na Prio Biocombustíveis consome-se eletricidade e gás natural, tendo os consumos anuais em 2015 (ano de referência da última Auditoria Energética realizada na empresa) atingido os valores de 807, 66 tep e 1859, 25 tep, respetivamente, perfazendo um total anual de consumo de 2666,92 tep. Dado o valor do consumo global anual de energia, a Prio Biocombustíveis é considerada uma instalação consumidora intensiva de energia, estando obrigada ao cumprimento dos requisitos da legislação em vigor pela qual está abrangida, o Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia.

Nesse mesmo ano de 2015, a produção de biodiesel na Prio Biocombustíveis foi de 80346 ton, tendo a empresa capacidade para produzir 113880 ton/ano.

Os objetivos principais do Estágio, propostos pela Prio Biocombustíveis, na sequência dos resultados obtidos com a última Auditoria Energética realizada na empresa, envolviam o estudo detalhado dos circuitos de traçagens elétricas e a caracterização dos respetivos consumos energéticos. Deste estudo eram esperados dois resultados finais: (1) Peças desenhadas com a rede de traçagens elétricas, com a caracterização do tipo de controlo utilizado em cada circuito; (2) Mapa com valores médios, de corrente e de potência ativa, por circuito da traçagem.

Tendo por base os resultados obtidos com a concretizado do primeiro objetivo, deveriam ser elaboradas propostas de ações com vista à otimização do consumo das traçagens elétricas. Com a concretização deste objetivo esperava-se como resultado final um mapa com a definição das alterações propostas, para os vários circuitos e com a estimativa das reduções esperadas.

Elaboradas as propostas das medidas de racionalização de consumos nos circuitos das traçagens identificadas, deveria seguir-se a implementação das ações propostas e a monitorização dos resultados obtidos. Desta fase, esperavam-se como resultados, um mapa com as alterações que foram implementadas e com as medições dos consumos elétricos após a implementação, bem como um resumo das reduções alcançadas.

Os objetivos propostos incluíram, ainda, a identificação de pontos para colocação estratégica de contadores de energia elétrica, com vista à futura implementação de um Sistema de Gestão de Energia (SGE).

Neste contexto, e após um breve período para a familiarização com os equipamentos de medida que foram utilizados e para a definição dos procedimentos de recolha de dados, iniciou-se o mapeamento das traçagens elétricas com o levantamento dos circuitos do respetivo quadro elétrico, tendo em vista a identificação do local de atuação de cada circuito, dos mecanismos de controlo e dos respetivos consumos de energia.

Durante o reconhecimento dos circuitos no processo foi realizada uma manutenção às caixas de derivação/alimentação das traçagens. Ainda durante a fase do levantamento dos circuitos no processo, foi possível fazer o reconhecimento dos fluídos utilizados e registar as temperaturas reguladas em cada circuito, bem como observar que havia parte de processos não utilizada, mas onde as traçagens permaneciam ligadas.

Identificados os circuitos das traçagens, e tendo constatado que alguns dos documentos que a Prio Biocombustíveis possuía estavam desatualizados, nomeadamente no que se referia à atuação de alguns caminhos de traçagem, procedeu-se à atualização dos PID's da fábrica. Finda a identificação total das traçagens, etiquetaram-se as caixas dos respetivos circuitos de forma a ficarem facilmente identificáveis.

Os resultados desta caracterização detalhada dos circuitos de traçagens, nomeadamente as peças desenhadas e os valores dos diferentes parâmetros medidos, são apresentados no Capítulo 4 (4.1 a 4.3 e respetivos anexos).

Da análise e tratamento dos dados recolhidos durante a fase da caracterização dos circuitos de traçagens, foi possível concluir que: 1) o valor de potência registado no quadro geral das traçagens apresentou uma redução de cerca de 13% relativamente ao valor indicado pela Auditoria Energética de 2015; 2) o somatório das potências médias de cada traçagem, correspondeu a um valor superior relativamente à potência total medida, aproximando-se dos valores registados na auditoria; 3) existe qualidade de onda na energia distribuída na instalação fabril, tendo por base o valor dos respetivos indicadores.

Visando obter uma justificação para as conclusões 1) e 2), foram averiguadas as condições climatéricas dos dois períodos de monitorização, verificando-se que as temperaturas observadas ao longo das medições realizadas durante o Estágio foram superiores às temperaturas registadas ao longo das medições realizadas no âmbito da Auditoria Energética, o que justifica a descida

do valor da potência nos circuitos das traçagens. Esta constatação reforça o facto de que as diferentes condições climáticas condicionam a ativação dos circuitos das traçagens.

Foram identificadas três medidas de racionalização de energia nos circuitos de traçagens: desligar circuitos sem utilidade, reduzir as temperaturas reguladas e colocar termómetros nas linhas, e elaboradas as respetivas propostas. Com a implementação das duas primeiras medidas foi possível desligar totalmente 10 circuitos e parcialmente 3 e ainda reduzir as temperaturas em 16 circuitos, onde as temperaturas estavam acima do necessário à proteção dos processos. A descrição das medidas de racionalização identificadas e a sua implementação são apresentadas em 4.4 e 4.5, respetivamente.

Para a verificação dos impactos imediatos das medidas implementadas, foi feita uma nova medição do consumo total do quadro geral das traçagens e feita a avaliação desses impactos, nomeadamente em termos de faturação, tendo-se obtido os dados apresentados na Tabela 6.1.

Tabela 6.1 – Impacto das medidas implementadas.

Previsão de redução [kW]	Desligar circuitos 9,76	Redução de temperaturas 5,02
Potência total antes das alterações [kW]	38,93	
Potência total depois das alterações [kW]	28,48	
Redução obtida [kW]	10,44	
Redução de custos €/ano⁸	4976,7	

Pretendendo encontrar o modo ótimo de funcionamento e controlo das traçagens, por forma a minimizar o consumo de energia, recorreu-se a um caso de estudo, apresentado em 4.6, onde é

⁸ Ver nota 7 da página 66.

proposta a otimização das condições de operação da traçagem de uma linha de biodiesel, tomada como representativa de toda a instalação.

O caso de estudo permitiu detetar que algumas utilizações das traçagens são desnecessárias, uma vez que se encontram em funcionamento durante a maior parte do ano, quando a sua utilização seria realmente necessária apenas nos períodos de paragem para a manutenção geral.

Tendo em vista a implementação de um Sistema de Gestão de Energia na Prio Combustíveis e sendo esta empresa uma consumidora intensiva de energia abrangida pelo SGCIE, apresenta-se no Capítulo 5 uma forma de integração da Norma ISO 50001 com o SGCIE, o que facilitará e dará suporte à implementação de um Sistema de Gestão de Energia segundo aquela Norma.

Assim, tendo em consideração a implementação futura de um SGE, sugere-se a determinação dos pontos ótimos de recolha de consumos elétricos, de que poderá resultar um esquema simples da rede elétrica, com a indicação dos pontos propostos para monitorização e um mapa de quantidades de materiais necessários para o sistema de monitorização.

Sugere-se, ainda, a implementação da terceira medida de racionalização de energia identificada e não implementada durante o período do Estágio. A utilização de termómetros nas linhas com traçagem permitirá o controlo da temperatura, permitindo uma análise ao correto funcionamento das traçagens e à necessidade do seu funcionamento, além de permitir a deteção de avarias nas traçagens pois, de outro modo, certamente só se detetará caso a temperatura do fluído desça o suficiente para causar problemas no processo.

Referências

- [1] U.S. Energy Information Administration (2018). International Energy Outlook 2017. [https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/0484\(2017\).pdf](https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/0484(2017).pdf) (acedido em fevereiro 2018).
- [2] International Energy Agency (2018). Key World Energy Statistics 2017. <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/KeyWorld2017.pdf> (acedido em fevereiro 2018).
- [3] European Commission (2018). EU Energy in figures – Statistical pocketbook 2017. https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/pocketbook_energy_2017_web.pdf (acedido em fevereiro 2018).
- [4] Direção Geral de Energia e Geologia, Direção de Serviços de Planeamento Energético e Estatística (2018). Indicadores Energéticos. <http://www.dgeg.gov.pt/> (acedido em fevereiro 2018).
- [5] Ming-Jia Li, Wen-Quan Tao (2017). Review of methodologies and polices for evaluation of energy efficiency in high energy-consuming industry, *Applied Energy* 187, 203–215.
- [6] Andrea Trianni, Enrico Cagno, Stefano Farné (2016). Barriers, drivers and decision-making process for industrial energy efficiency: A broad study among manufacturing small and medium-sized enterprises, *Applied Energy* 162, 1537–1551.
- [7] International Energy Agency (2012). Energy Management Programmes for Industry. Gaining through saving, IEA Publications, France, April 2012.
- [8] João Henriques, Justina Catarino (2016). Motivating towards energy efficiency in small and medium enterprises, *Journal of Cleaner Production* 139, 42–50.
- [9] Davide Chiaroni, Vittorio Chiesa, Simone Franzo, Federico Frattini, Vito Manfredi Latilla (2017). Overcoming internal barriers to industrial energy efficiency through energy audit: a case study of a large manufacturing company in the home appliances industry, *Clean Techn Environ Policy*.19, 1031–1046.
- [10] Enrico Cagno, Andrea Trianni (2014). Evaluating the barriers to specific industrial energy efficiency measures: an exploratory study in small and medium-sized enterprises, *Journal of Cleaner Production* 82, 70–83.
- [11] Catarino, J., Henriques, J. & Egreja, F. (2015). Portuguese SME toward energy efficiency improvement, *Energy Efficiency* 8, 995–1013.
- [12] Johannes Fresner, Fabio Morea, Christina Krenn, Juan Aranda Uson, Fabio Tomasi (2017). Energy efficiency in small and medium enterprises: Lessons learned from 280 energy audits across Europe, *Journal of Cleaner Production* 142, 1650–1660.

- [13] Diego Viesia, Francesca Pozzarb, Alessandro Federicic, Luigi Cremaa, Md Shahriar Mahbuba (2017). Energy efficiency and sustainability assessment of about 500 small and medium-sized enterprises in Central Europe region, *Energy Policy* 105, 363–374.
- [14] EEP–Empresa de Estudos e Projetos (2016). Sistema de Gestão de Consumidores Intensivos de Energia. Exame da Instalação, Auditoria de Energia, julho 2016.
- [15] Prio (2017). <https://www.prioenergy.com>. (acedido em abril 2017).
- [16] M. Canakci, H. Sanli (2008). Biodiesel production from various feedstocks and their effects on the fuel properties, *J Ind Microbiol Biotechnol* 35, 431–441.
- [17] B.L.Salvi, N.L.Panwar (2012). Biodiesel resources and production technologies – A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16 (6), 3680-3689.
- [18] Vijay Kumar Mishra, Rachna Goswami (2018). A review of production, properties and advantages of biodiesel, *Biofuels* 9, 273-289.
- [19] H.M. Mahmudula, F.Y. Hagosa, R. Mamata, A. Abdul Adama, W.F.W. Ishakb, R. Alenezic (2017). Production, characterization and performance of biodiesel as an alternative fuel in diesel engines – A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 72, 497–509.
- [20] European Committee for Standardization, “EN 14214:2003 (E) Automotive fuels - fatty acid methyl esters (fame) for diesel,” 2003.
- [21] Snežana B. Živković, Milan V. Veljković, Ivana B. Banković-Ilić, Ivan M. Krstić, Sandra S. Konstantinović, Slavica B. Ilić, Jelena M. Avramović, Olivera S. Stamenković, Vlada B. Veljković (2017). Technological, technical, economic, environmental, social, human health risk, toxicological and policy considerations of biodiesel production and use, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 79, 222–247.
- [22] A. Demirbas (2009). Progress and recent trends in biodiesel fuels, *Energy Convers. Manag.*, 50 (1), 14–34.
- [23] Thermon (2013). The Heat tracing general concepts, ppt, Matosinhos, novembro 2013.
- [24] Pitzer, K. (2003). The Relative Merits and Limitations of Thermal Fluid, Electric and Steam Heat Tracing Systems, Thermon Corp., 2003.
- [25] Mário S. Almeida (2014). Traçagem Elétrica, Neutro à Terra, *Revista Técnico-Científica*, 13, 5-10.
- [26] Erwin Stanzel, Dieter Spornitz (2007). Electric Heat Tracing, Patent No.: US 7,260,320 B2.
- [27] Yunus A. Cengel (2003). Heat Transfer – A Practical Approach, 2nd edition, McGraw- - Hill, chapter 2, 61-129.
- [28] Bartec (2017). Catalogue Heating Technology, Edition 2017, Germany. https://www.bartec.de/produkte-flipbooks/pdf/2017_11_28_HEATING_TECHNOLOGY_EN.pdf

-
- [29] EDP (2005). Manual da qualidade da energia eléctrica, dezembro 2005.
- [30] IPMA (2017). Boletim Climatológico Sazonal – Verão de 2017.
- [31] IPMA (2016). Boletim Climatológico Sazonal Fevereiro 2016 Portugal Continental
- [32] https://www.windguru.cz/archive-stats.php?id_spot=826&id_model=3.
- [33] Kanit Krisnangkura, Tawatchai Yimsuwan, Ratanachai Pairintra (2006). An empirical approach in predicting biodiesel viscosity at various temperatures, *Fuel* 85, 107–113.
- [34] J. R. Backhurst, J. H. Harker and J. F. Richardson (2001). *Coulson & Richardson's Chemical Engineering: Solutions to the Problems in Chemical Engineering*, volume 1, Butterworth-Heinemann 2001.
- [35] Kanit Krisnangkura, Chanida Sansa-ard, Kornkanok Aryusuk, Supathra Lilitchan, Kanisa Kittiratanapiboon (2010). An empirical approach for predicting kinematic viscosities of biodiesel blends, *Fuel* 89, 2775–2780.
- [36] Miguel J. Vieira. Projeto de uma Unidade Laboratorial de Produção de Biodiesel, Projeto de Mestrado, Instituto Politécnico de Tomar.
- [37] Mahesh M. Rathore (2010). *Thermal Engineering*, Tata McGraw Hill, New Delhi, pp 1036.
- [38] E.A. Abdelaziz, R. Saidur, S. Mekhilef (2011). A review on energy saving strategies in industrial sector, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15 (2011) 150–168.
- [39] Bojana Jovanovic, Jovan Filipovic (2016). ISO 50001 standard-based energy management maturity model – proposal and validation in industry, *Journal of Cleaner Production* 112, 2744-2755
- [40] Mike Schulze, Henrik Nehler, Mikael Ottosson, Patrik Thollander (2016). Energy management in industry - a systematic review of previous findings and an integrative conceptual framework, *Journal of Cleaner Production* 112, 3692-3708.
- [41] Instituto Português da Qualidade (2012). NP EN ISO 50001:2012 - Sistemas de gestão de energia - Requisitos e linhas de orientação para a sua utilização (ISO 50001:2011), maio 2012.
- [42] Associação Industrial do Distrito de Aveiro (2014). *Sistema de Gestão Energética - Guia Prático*, pp. 1–75,.
- [43] ISO, International Organization for Standardization. <https://www.iso.org/> (acedido em maio 2017).
- [44] Gonçalo R. Ferreira (2014). Metodologias de Projecto de Sistemas de Monitorização e Reporte de Energia – Caso de Estudo. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa.
-

ANEXO I - Listagem completa dos componentes do quadro elétrico

O presente anexo encontra-se em suporte digital.

ANEXO II- Esquema elétrico unifilar do quadro elétrico das traçagens

O presente anexo encontra-se em suporte digital.

ANEXO III - Tabela de identificação dos circuitos no processo

O presente anexo encontra-se em suporte digital.

ANEXO IV – Datasheets das traçagens elétricas utilizadas na Prio Biocombustíveis

O presente anexo encontra-se em suporte digital.

ANEXO V – Esquema elétrico multifilar dos circuitos das traçagens elétricas

O presente anexo encontra-se em suporte digital.

ANEXO VI – Compilação das traçagens nos PID's da fábrica

O presente anexo encontra-se em suporte digital.

ANEXO VII – PID's das traçagens corrigidos

O presente anexo encontra-se em suporte digital.

ANEXO VIII – Relatórios das medições efetuadas

O presente anexo encontra-se em suporte digital.

ANEXO IX – Tabela de recolha de dados das medições

O presente anexo encontra-se em suporte digital.

ANEXO X – Compilação das temperaturas registadas nas medições

O presente anexo encontra-se em suporte digital.

ANEXO XI – Gráfico do atrito em tubos

O presente anexo encontra-se em suporte digital.